



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí - K133

Návrh přestavby konstrukce sila v Olomouci

Reconstruction of silo tower in Olomouc

Diplomová práce – Základní část: STATICKÁ – BETONOVÉ KONSTRUKCE

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

Daniel Vyskočil

Praha 2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. VYSKOČIL Jméno: Daniel Osobní číslo: 410864
Zadávací katedra: betonových a zděných konstrukcí
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh přestavby konstrukce sila v Olomouci
Název diplomové práce anglicky: Reconstruction of silo tower in Olomouc
Pokyny pro vypracování:
Předběžný návrh nosných prvků při změně využití sila na kancelářský objekt.
Podrobný návrh vybraných prvků.
Technická zpráva ke statické části.
Výkresy tvaru, výkresy výztuže vybraných prvků.
Obsah dílčích částí zadání - viz specifikace zadání.

Seznam doporučené literatury:
doporučená literatura pro studenty bakalářského a magisterského studia
dostupné podklady k realizovanému objektu

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.
Datum zadání diplomové práce: 2.10.2017 Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

2.10.2017 _____
Datum převzetí zadání Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Daniel VYSKOČIL

Název diplomové práce: Návrh přestavby konstrukce síla v Olomouci

Základní část: statická - BETON

podíl: 80 %

Formulace úkolů: Konceptuální návrh objektu. Přev. návrh všech nosiv. a svídků nosných prvků. Podrobný návrh prefabrikovaných sloupů, desek ŽNP, geotektonického, prok. schémata výhledu trasy. Výhledy výhledu výhledových prvků. Práce 72 de štěrku č. 13.

Podpis vedoucího DP:

Datum: 2.10.2017

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: STATICKÁ - OCEK

podíl: 10 %

Konzultant (jméno, katedra): MARTINA ELIÁŠOVÁ

Formulace úkolů: Návrh a posouzení OK nosných síla - sloupů nosníků, sloup + návn detailů: kolování sloupů, přípoj. namáhání nos. sloup, návn detailů + přípoj, dispoziční řešení + výhledy návrhových detailů, kolov. sprava

Podpis konzultanta:

Datum: 16.10.2017

3. Část: GEOTECHNICKÁ

podíl: 10 %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů: NÁVRH PÍLOTOVÉHO ZALOŽENÍ TECHNICKÁ SPRÁVA ZPŘEDVODNĚNÁ PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE

Podpis konzultanta:

Datum: 16.10.17

4. Část:

podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:

Datum:

Poznámka: Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci (vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1.stranou zadání již ve 2.týdnu semestru)

Prohlášení

Prohlašuji, že celou diplomovou práci jsem zpracoval samostatně, a že jsem veškerou použitou literaturu a jiné podklady uvedl v přehledu použité literatury, který je součástí diplomové práce.

V Praze dne 2.1.2018

.....

Daniel Vyskočil

Abstrakt

Tématem diplomové práce je návrh přestavby konstrukce sila v Olomouci.

Hlavní část práce je věnována návrhu sloupu podpírajícího nástavbu sila, ve kterém jsou porovnány různé metody stanovení excentricity druhého řádu. Rovněž je navržena výztuž stropní desky 3.NP, výztuž piloty a spojitě základové patky. Práce se dále věnuje ocelové konstrukci a založení objektu.

K diplomové práci jsou přiloženy výkresy tvaru, výkresy výztuže desky 3.NP, výkresy výztuže sloupu a spojitě základové patky a piloty.

Klíčová slova

Stropní desky

Výstřednost

Sloup

Pilota

Základová patka

Abstract

The topic of this thesis is Reconstruction of silo tower in Olomouc.

The main part of the thesis is focused on suggestion of the column supporting superstructure of the silo tower, in which are comparing various methods of the determination the second level of the eccentricity. There are also suggested reinforcement of the ceiling slab of the third floor, reinforcement of the pile and reinforcement of the spread footing. Next the thesis is engaged in steel construction and foundation of the object.

There are also attachments of the drawings of the shape, drawings of the reinforcement of the slab in the third floor, drawings of the reinforcement of the column and spread footing and pile.

Keywords

Ceiling slab

Eccentricity

Column

Pile

Spread footing

Obsah

1	Úvod	8
2	Základní charakteristika projektu	9
2.1	Objekt	9
2.2	Popis objektu	11
2.3	Konstrukční řešení	12
2.4	Skladby a zatížení	14
3	3D Model	17
4	Předběžný návrh	18
4.1	Návrh tloušťky stropní desky	18
4.2	Návrh rozměrů průvlaku v desce	19
4.3	Předběžný návrh ohybové výztuže průvlaku ve 2. NP	19
4.4	Návrh výztuže průvlaku v 1.NP	24
5	Dynamické namáhání konstrukce	30
6	Sloupy podpírající nástavbu	31
6.1	Stanovení vzpěrné délky prutu dle ČSN EN 1992-1-1	32
6.2	Stanovení vzpěrné délky prutu dle ČSN P ENV 1992-1-1	35
6.3	Vnitřní síly na sloupech E1 a C2	38
6.4	Kritérium štíhlosti	39
6.5	Metoda založená na jmenovité křivosti	41
6.6	Metoda založená na jmenovité tuhosti	43
6.7	Iterační metoda - účinky 2. řádu zavedeny výstředností	45
6.8	Iterační metoda - účinky 2. řádu zavedeny vod. silou	46
6.9	Srovnání	47
7	Návrh a posouzení výztuže sloupu	48
7.1	Zjednodušený postup posouzení průřezu sloupu C2	48
7.2	Posouzení sloupu C2 – výztuž uvažována prostorově	53
7.3	Posouzení průřezu sloupu C2 s využitím softwaru	58
7.4	Vyhodnocení	60
7.5	Návrh úchytů pro manipulaci	61
7.6	Manipulace s dílcem	63

8	Základová patka pro prefabrikovaný sloup	66
8.1	Návrh výztuže	67
8.1.1	Vodorovná výztuž kalichu.....	67
8.1.2	Svislá výztuž kalichu.....	68
8.1.3	Podélná výztuž sdružené patky pro založení dvou prefabrikovaných sloupů	69
8.1.4	Výztuž na soustředěný tlak.....	72
8.1.5	Protlačení základové patky	74
9	Statický výpočet desky 3.NP	76
9.1	Model desky	76
9.1.1	Kombinace zatížení.....	76
9.1.2	ŽB trám B03	77
9.1.3	ŽB trám B04	82
9.1.4	Ohybová výztuž v místě napojení schodiště.....	87
9.1.5	Obálky a izolinie ohybových momentů	88
9.2	Mezní stav únosnosti.....	100
9.2.1	Vstupní údaje.....	100
9.2.2	Návrh výztuže	100
9.3	Mezní stav použitelnosti	103
9.3.2	Charakteristiky průřezu od dlouhodobě působícího zatížení.....	108
9.3.3	Charakteristiky ideálního průřezu od smršťování	110
10	Závěr	114
11	Přehled použité literatury	115
12	Seznam obrázků	117
13	Seznam tabulek	119

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá administrativní budovou postavenou na základech bývalého síla. Tato přestavba se nachází v blízkosti centra Olomouce a jedná se o unikátní a atypickou stavbu tohoto kraje.

Přestavba zahrnuje nástavbu pěti pater na konstrukci původního síla z roku 1936, která sahá do výšky 17 metrů. Nové prostory budou sloužit jako kanceláře. Součástí posledního patra je venkovní terasa sloužící ke společenským akcím. Terasa je pouze na části půdorysu a tvoří jí ocelová konstrukce s hliníkovými prosklenými panely.

Cílem hlavní části diplomové práce zaměřené na betonové konstrukce je předběžný návrh nosných prvků při změně využití síla na kancelářský objekt. Podrobněji se práce věnuje návrhu sloupu podírající nástavbu síla, ve kterém jsou porovnány různé metody stanovení excentricity druhého řádu. Dále je navržena výztuž stropní desky 3.NP, výztuž piloty a spojitě základové patky.

Součástí hlavní části diplomové práce je výkresová dokumentace betonové konstrukce řešené budovy. Jedná se o výkresy tvaru provedeny v měřítku 1:50, výkresy výztuže vybraných prvků v měřítku 1:50.

Cílem 2. části diplomové práce je dimenzování stropního nosníku, sloupu a ztužidla ocelové konstrukce. Dále budou navrženy detaily kotvení sloupu a přípoje nosníku na sloup.

Součástí této části diplomové práce je výkresová dokumentace ocelové konstrukce řešené budovy. Jedná se o dispoziční výkresy provedeny v měřítku 1:50 a výkresy vnitřních detailů v měřítku 1:5.

Cílem 3. části diplomové práce je dimenzování vrtaných pilot, které budou přenášet zatížení z nástavby pěti nadzemních podlaží. Součástí je také zjednodušená projektová dokumentace.

2 Základní charakteristika projektu

2.1 Objekt

Diplomová práce se zabývá administrativní budovou postavenou na základech bývalého sila. Tato přestavba se nachází v blízkosti centra Olomouce a jedná se o unikátní a atypickou stavbu tohoto kraje. Celý komplex s oficiálním názvem Silo Tower je již dokončen. Při zpracování práce jsem vycházel ze stavebních schémat běžného podlaží (viz Obr. 2) a řezu (viz Obr. 4).



Obr. 1 Fotografie – Silo Tower

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.

Obr. 2 Schéma půdorysu běžného podlaží [12]

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.

Obr. 3 Fotografie původního sila z roku 1936 [8]

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.

Obr. 4 Schéma řezu [12]

2.2 Popis objektu

Předmětem projektu je přestavba konstrukce síla v Olomouci. Jedná se o nástavbu pěti pater na konstrukci původního síla z roku 1936. V přízemí se nachází recepce, další patra nástavby slouží jako kancelářské prostory o celkové ploše přibližně okolo 1100 m². Kanceláře mají flexibilní uspořádání v podobě kuchyněk a sociálních zařízení. Konstruktivní výška nadzemních podlaží je 3700 mm.

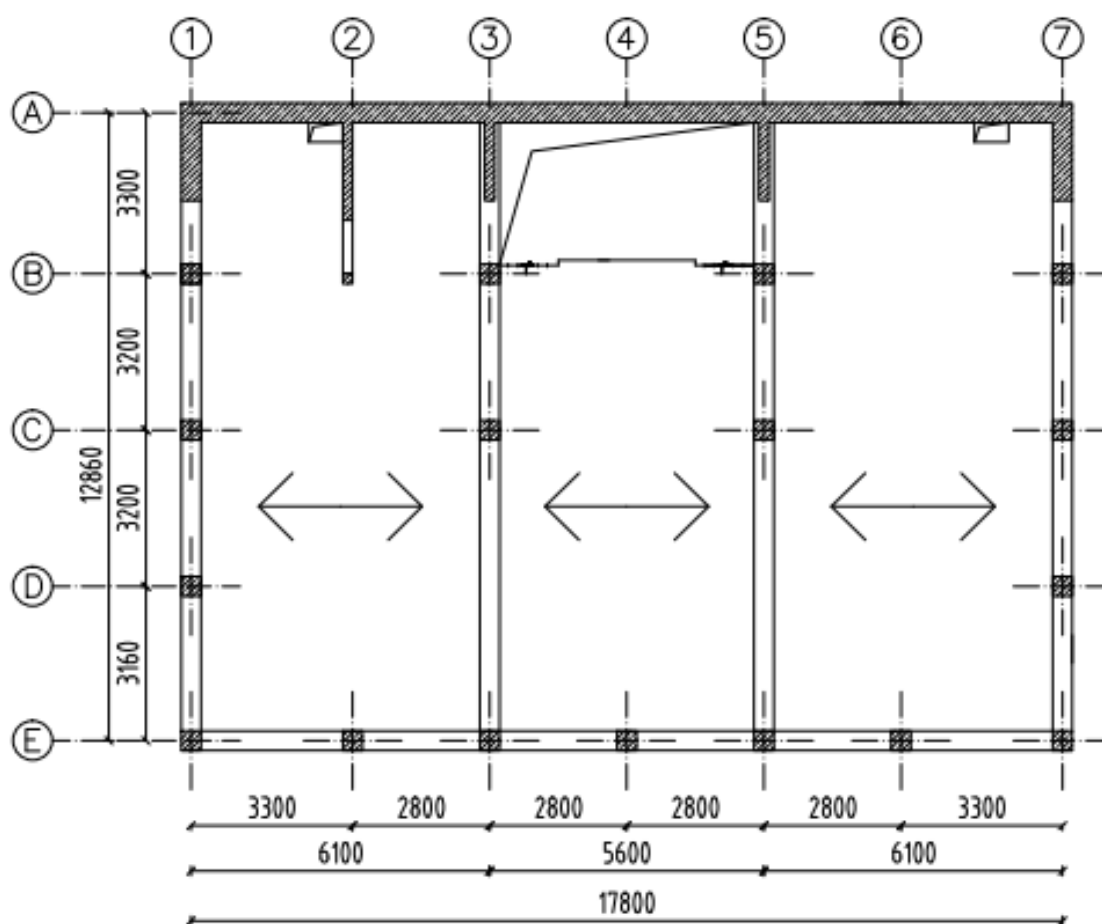
Součástí posledního patra je venkovní terasa sloužící ke společenským akcím. Terasa je pouze na části půdorysu a tvoří ji ocelová konstrukce s hliníkovými prosklenými panely. Ocelová konstrukce je také přizpůsobena k hornímu dojezdu výtahu, který může být zpřístupněn k technologické údržbě.

Celý komplex je zpřístupněn výtahem a v patrech s kanceláři je umístěno tříramenné monolitické železobetonové schodiště. Nástavba je zpřístupněna i venkovním ocelovým schodištěm.

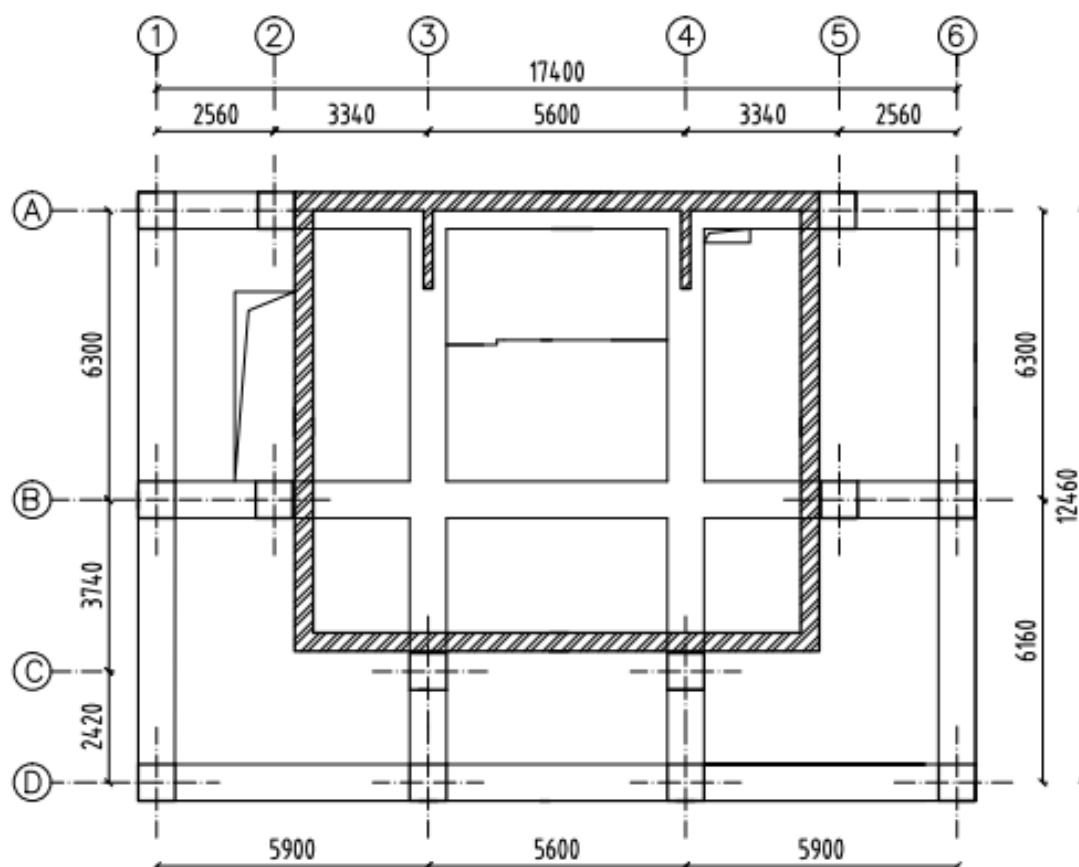
Objekt bude napojen na inženýrské sítě, které jsou vedeny v přilehlé komunikaci.

2.3 Konstrukční řešení

Objekt je založen na hlubinných širokoprofilových vrtaných pilotách, které jsou ukončeny spojitou patkou s obdélníkovými kalichy. Hlavní nosný systém budovy je tvořen 14 prefabrikovanými sloupy, které podpírají nástavbu sila. Uprostřed těchto sloupů je provedeno ztužení ocelovými a železobetonovými prvky. Nad úrovní sila na sloupy je proveden monolitický železobetonový rošt. Nosný systém nástavby tvoří monolitické železobetonové desky s průvlaky, které jsou nesené sloupy a stěnami. Celkové půdorysné rozměry objektu jsou 18,2 x 13,26 m. Hlavní schodiště je řešeno jako železobetonové, monolitické a tříramenné.



Obr. 5 Konstrukční schéma typického podlaží



Obr. 6 Konstrukční schéma – umístění sloupů vůči původnímu sílu

2.4 Skladby a zatížení

SKLADBA A ZATÍŽENÍ STROPU - POCHOZÍ STŘEŠNÍ KONSTRUKCE				
Materiál	Tloušťka [mm]	Char.zatížení [kN/m ²]	γ	Návrh.zatížení [kN/m ²]
Stálé				
Bet.dlažba	50	1,15	1,35	1,553
Štěrk f 16/32	50	1	1,35	1,350
Filtek 300 (sep.textilie)	-	-	-	-
Fatrafol 817 (hydroizolace)	1,5	-	-	-
Filtek 300 (sep.textilie)	-	-	-	-
Monrock max-e (mineral.deska)	150	0,083	1,35	0,112
Rockfall (spádové desky)	20-140	0,023	1,35	0,031
Foalbit Al S40 (parozábrana)	4,2	0,041	1,35	0,055
ŽB strop *	220	5,5	1,35	7,425
Sádrokartonový podhled	-	0,35	1,35	0,473
Přídavné zatížení	-	0,25	1,35	0,338
(rozvody VZT, osvětlení, drobná zařízení)	-	-	-	-
Omítka - sádrová	10	0,235	1,35	0,317
Proměnné				
Užitné	Kategorie - I	2,5	1,5	3,750
Celkem		11,132		15,403

*Tloušťka stropní desky viz kapitola 4.1

SKLADBA A ZATÍŽENÍ STROPU S PODLAHOU (POCHOZÍ POVRCH - ZÁTĚŽOVÝ KOBEREK)				
Materiál	Tloušťka [mm]	Char.zatížení [kN/m ²]	γ	Návrh.zatížení [kN/m ²]
Stálé				
Zátěžový koberec	5	0,01	1,35	0,014
Panel Knauf	34	0,5	1,35	0,675
Rektifikovatelné podpory + trámký	-	0,3	1,35	0,405
OSB desky 2x15mm prostřít	30	0,3	1,35	0,405
Zvuková izolace Rogifloor 400	30	0,02	1,35	0,027
ŽB strop *	220	5,5	1,35	7,425
Sádrokartonový podhled	-	0,35	1,35	0,473
Přídavné zatížení	-	0,25	1,35	0,338
(rozvody VZT, osvětlení, drobná zařízení)	-	-	-	-
Omítka - sádrová	10	0,235	1,35	0,317
Proměnné				
Přemístitelné příčky		0,8	1,5	1,200
Užitné	Kategorie - I	2,5	1,5	3,750
Celkem		10,765		15,028

*Tloušťka stropní desky viz kapitola 4.1

SKLADBA A ZATÍŽENÍ STROPU S PODLAHOU (POCHOZÍ POVRCH - KERAMICKÁ DLAŽBA)				
Materiál	Tloušťka [mm]	Char.zatížení [kN/m ²]	γ	Návrh.zatížení [kN/m ²]
Stálé				
Keramická dlažba + izolační a lepicí stěrka	10	0,2	1,35	0,270
Panel Knauf	34	0,5	1,35	0,675
Rektifikovatelné podpory + trámký	-	0,3	1,35	0,405
OSB desky 2x15mm prostřít	30	0,3	1,35	0,405
Zvuková izolace Rogifloor 400	30	0,02	1,35	0,027
ŽB strop *	220	5,5	1,35	7,425
Sádkartonový podhled	-	0,35	1,35	0,473
Přídavné zatížení	-	0,25	1,35	0,338
(rozvody VZT, osvětlení, drobná zařízení)	-	-	-	-
Omítka - sádková	10	0,235	1,35	0,317
Proměnné				
Přemístitelné příčky		0,8	1,5	1,200
Užitné	Kategorie - I	2,5	1,5	3,750
Celkem		10,955		15,284

* Tloušťka stropní desky viz kapitola 4.1

SKLADBA A ZATÍŽENÍ STROPU V KONTAKTU S INTERIÉREM				
Materiál	Tloušťka [mm]	Char.zatížení [kN/m ²]	γ	Návrh.zatížení [kN/m ²]
Stálé				
Zátěžový koberec	5	0,01	1,35	0,014
Panel Knauf	34	0,5	1,35	0,675
Rektifikovatelné podpory + trámký	-	0,3	1,35	0,405
OSB desky 2x15mm prostřít	30	0,3	1,35	0,405
Zvuková izolace Rogifloor 400	30	0,02	1,35	0,027
ŽB strop *	220	5,5	1,35	7,425
Frontoc Max E	150	0,083	1,35	0,112
Šlechtěná stěrková výztužná vrstva	10	0,235	1,35	0,317
Proměnné				
Přemístitelné příčky		0,8	1,5	1,200
Užitné	Kategorie - I	2,5	1,5	3,750
Celkem		10,248		14,330

* Tloušťka stropní desky viz kapitola 4.1

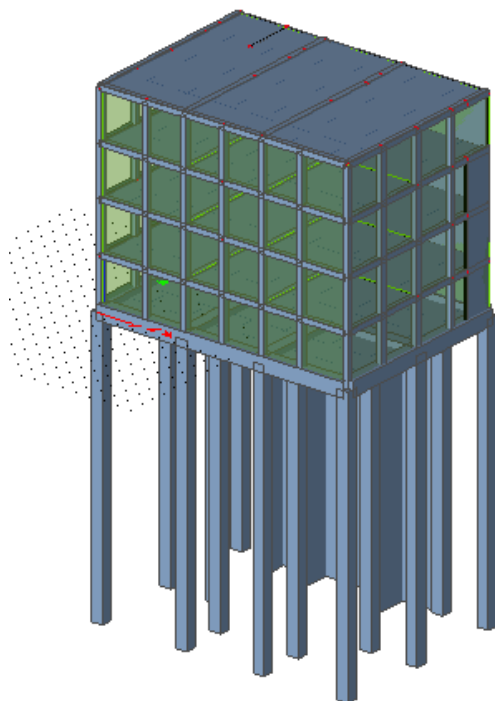
OBVODOVÝ PLÁŠŤ - PROVĚTRÁVANÁ FASÁDA				
Materiál	Tloušťka [mm]	Char.zatížení [kN/m ²]	γ	Návrh.zatížení [kN/m ²]
Stálé				
Tepelná izolace	200	0,013	1,35	0,018
Zavěšený obklad z vysokotlakého laminátu + uchycovací zařízení	-	0,15	1,35	0,203

Pro vložení do statického programu jako lineární zatížení nutno vynásobit konstrukční výškou budovy.

OBVODOVÝ PLÁŠŤ - PROSKLENÝ PANEL				
Materiál	Tloušťka [mm]	Char.zatížení [kN/m]	γ	Návrh.zatížení [kN/m]
Stálé				
Prosklený panel	-	0,5	1,35	0,675

3 3D Model

V rámci diplomové práce byl vytvořen 3D prostorový model v programu Scia Engineer. V dalších výpočtech budou použity výstupy z modelu. Tento model byl například využit pro výpočet dynamických účinků na konstrukci viz kapitola 5, vzpěrných délek sloupů viz kapitola 6 a pro výpočet některých prvků konstrukce.



Obr. 7 3D prostorový model

ZATĚŽOVACÍ STAVY	
Vlastní tíha	
Podlaha	
Proměnné - podlaha	
Střešní konstrukce	
Proměnné - střešní konstrukce	
Sníh	
Obvodový plášť	
Větr podélný	
Větr příčný	
Šachovnice 1	Stálé
	Užitné
Šachovnice 2	Stálé
	Užitné
Šachovnice 3	Stálé
	Užitné

Na 3D model byly naneseny zatěžovací stavy dle Tab. 1.

Tab. 1 Zatěžovací stavy

4 Předběžný návrh

4.1 Návrh tloušťky stropní desky

Návrh tloušťky stropní desky je stejný pro všechna podlaží.

a) *Pomocí empirického vztahu*

$$h_d \geq \left(\frac{1}{33}\right) \cdot L_{max} = \left(\frac{1}{33}\right) \cdot 6100 = 185 \text{ mm}$$

Dle empirického vztahu vychází tloušťka stropní desky 180-190 mm.

b) *Podmínka ohybové štíhlosti*

Beton C 30/37

Uvažuji stupeň vyztužení $\rho = 0,5 \%$.

- jedná se o přibližnou hodnotu, přesněji v návrhu výztuže

$$\lambda = \frac{l}{d} \leq \lambda_d$$

$$\lambda_d = \chi_1 \cdot \chi_2 \cdot \chi_3 \cdot \lambda_{d,tab}$$

$$\lambda_d = 1 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 26 = 31,2$$

kde: χ_1 - součinitel tvaru průřezu - $\chi_1 = 1,0$

χ_2 - součinitel rozpětí - $\chi_2 = 1,0$

χ_3 - součinitel napětí tahové výztuže - $\chi_3 = 1,2$

$\lambda_{d,tab}$ - vymezená ohybová štíhlost - $\lambda_{d,tab} = 26$

$$d \geq \frac{l}{\lambda_d} \rightarrow d \geq \frac{6100}{31,2} = 195,5 \text{ mm}$$

$$h_d = d + \frac{1}{2} \phi + c = 195,5 + \frac{1}{2} \cdot 12 + 25 = 226 \text{ mm}$$

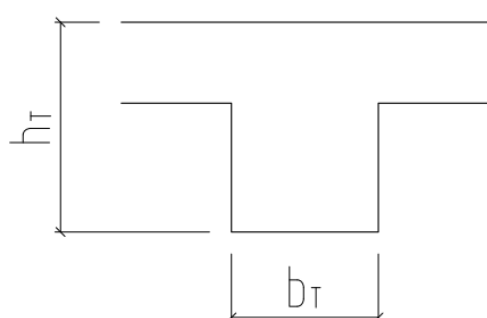
Volím velikost výztužného profilu $\phi = 12 \text{ mm}$.

Dle podmínky ohybové štíhlosti vychází tloušťka stropní desky okolo 230 mm.

Návrh tloušťky stropní desky $h_d = 220 \text{ mm}$.

4.2 Návrh rozměrů průvlaku v desce

Průvlak stropních konstrukcí vyšších pater viz Obr. 5.



Výška průvlaku

$$h_T = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{10} \right) \cdot L = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{10} \right) \cdot 6360$$

$$= (530 - 636) \text{ mm}$$

$$h_T = 570 \text{ mm}$$

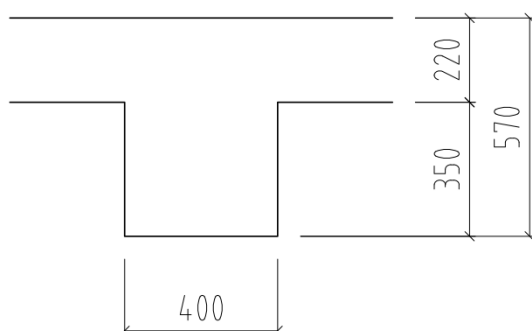
Šířka průvlaku

$$b_T = \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3} \right) \cdot h_T = \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3} \right) \cdot 580$$

$$= (193 - 386) \text{ mm}$$

$$b_T = 400 \text{ mm}$$

Návrh výšky průvlaku $h_T = 570 \text{ mm}$ a šířky průvlaku $b_T = 400 \text{ mm}$.

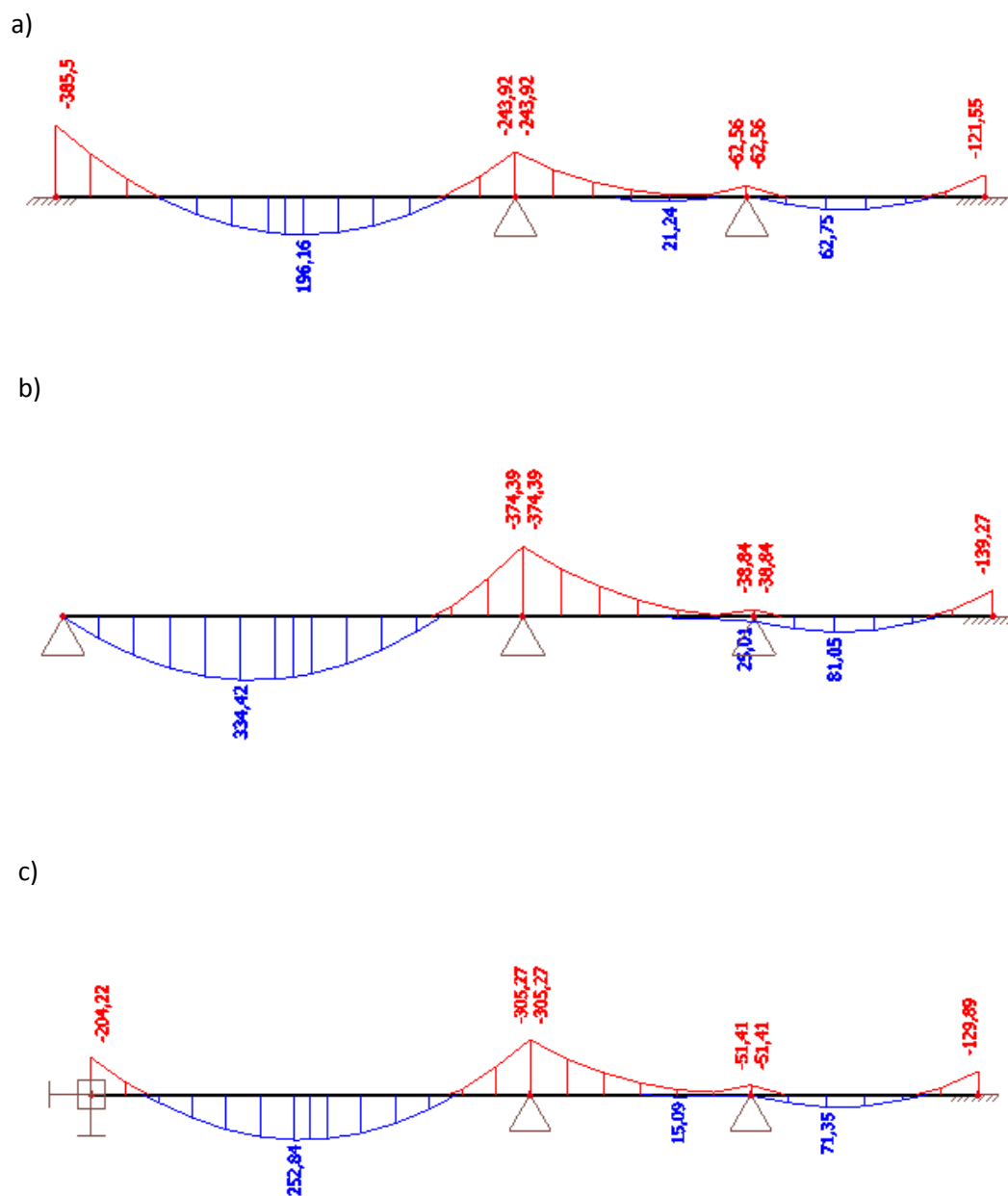


Obr. 8 Schéma rozměrů průvlaku ve 2.NP

4.3 Předběžný návrh ohybové výztuže průvlaku ve 2. NP

ZATÍŽENÍ NA PRŮVLAK			
Materiál	Char.zatížení [kN/m²]	γ	Návrh.zatížení [kN/m²]
Stálé			
Vlastní tíha	-	-	-
Stálé strop + podlaha	7,145	1,35	9,646
Proměnné			
Užitné + přemístitelné přičky	3,3	1,5	4,950

Vlastní tíha průvlaku bude započítána programem Scia engineer.



Obr. 9 Ohybový moment na průvlaku ve 2.NP

- a) Podpora modelovaná jako vetknutí
- b) Podpora modelovaná jako kloub
- c) Podpora modelovaná se snížením tuhosti

Návrh ohybové výztuže

$M_{Ed} = 252,84 \text{ kNm}$ (mezipodporový moment)

$$d_T = h_T - c - \frac{\phi}{2} - \phi_{T\check{R}} = 570 - 25 - \frac{20}{2} - 10 = 525 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d_T^2 \cdot f_{cd}} = \frac{252,84 \cdot 10^6}{2398 \cdot 525^2 \cdot 20} = 0,019$$

Spolupůsobící šířka desky

$$b_{eff} = b_{eff,i} + b_T \leq b$$

$$b_{eff,1} = 0,2b_1 + 0,1l_0$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot 3050 + 0,1 \cdot 4140 = 1024 \text{ mm}$$

$$b_{eff,2} = 0,2 \cdot 2800 + 0,1 \cdot 4140 = 974 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 1024 + 974 + 400 = 2398 \text{ mm}$$

$$\zeta = 0,99 \text{ (Tabulky)}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{252,84 \cdot 10^6}{0,99 \cdot 525 \cdot 434,78} = 1118,88 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = \pi \left(\frac{\phi}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{20}{2} \right)^2 = 314,2 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 4x Ø20 mm ($A_{s,prov} = 1256,6 \text{ mm}^2$)

Splnění podmínek:

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,prov} \geq A_{s,min}$$

$$A_{s,prov} \geq \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d ; 0,0013 \cdot b \cdot d\right)$$

$$A_{s,prov} \geq \max\left(0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 400 \cdot 525 ; 0,0013 \cdot 400 \cdot 525\right)$$

$$A_{s,prov} \geq \max(316,7 ; 273)$$

$$1256,6 \text{ mm}^2 \geq 316,7 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

$$A_{s,prov} \leq 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 400 \cdot 570$$

$$1256,6 \text{ mm}^2 \leq 9120 \text{ mm}^2$$

Maximální rozteče výztuže

$$s \leq \min(2h; 250) = \min(2 \cdot 570; 250) = 250 \text{ mm}$$

$$80 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm}$$

Návrh splňuje podmínky.

Posouzení

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1256,6 \cdot 435}{0,8 \cdot 2398 \cdot 20} = 14,25 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 525 - 0,4 \cdot 14,25 = 519,3 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 1256,6 \cdot 434,78 \cdot 519,3$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$283,72 \text{ kNm} > 252,84 \text{ kNm}$$

Ověření z hlediska ohybového namáhání

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{14,25}{525} = 0,028$$

Hodnota ξ je přijatelná, není proto nutné zvyšovat průřez.

Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = 305,27 \text{ kNm (nadpodporový moment)}$$

$$d_T = h_T - c - \frac{\phi}{2} - \phi_{T\check{R}} = 570 - 25 - \frac{16}{2} - 8 = 529 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d_T^2 \cdot f_{cd}} = \frac{305,27 \cdot 10^6}{400 \cdot 525^2 \cdot 20} = 0,139$$

$$\zeta = 0,927 \text{ (Tabulky)}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{305,27 \cdot 10^6}{0,927 \cdot 525 \cdot 434,78} = 1442,7 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = \pi \left(\frac{\emptyset}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{20}{2} \right)^2 = 314,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{NÁVRH} \quad \mathbf{5 \times \emptyset 20 \text{ mm } (A_{s,prov} = 1571 \text{ mm}^2)}$$

Posouzení

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1571 \cdot 435}{0,8 \cdot 400 \cdot 20} = 106,78 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 525 - 0,4 \cdot 106,78 = 482,29 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 1571 \cdot 434,78 \cdot 482,29$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$329,42 \text{ kNm} > 305,27 \text{ kNm}$$

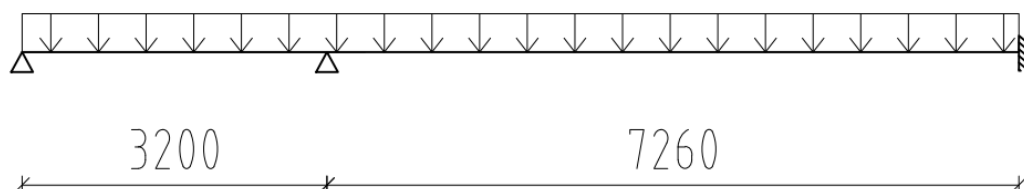
Ověření z hlediska ohybového namáhání

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{106,78}{525} = 0,21$$

Hodnota ξ je přijatelná, není proto nutné zvyšovat průřez.

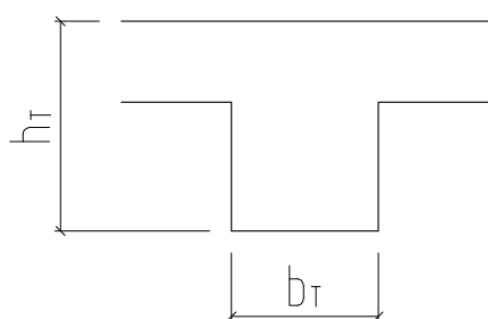
4.4 Návrh výztuže průvlaku v 1.NP

Průvlak je jedním z prvků roštu, který vynáší horní patra konstrukce viz Obr. 6.



Obr. 10 Statické schéma průvlaku v 1.NP

Vnitřní síly na průvlaku v 1.NP vychází z 3D modelu celé konstrukce. Zatížení kladené na průvlak viz Tab. 1.



Výška průvlaku

$$h_T = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{10} \right) \cdot L = \left(\frac{1}{12} - \frac{1}{10} \right) \cdot 12000$$

$$= (1000 - 1200) \text{ mm}$$

$$h_T = 1020 \text{ mm}$$

Šířka průvlaku

$$b_T = \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3} \right) \cdot h_T = \left(\frac{1}{2} - \frac{2}{3} \right) \cdot 1020$$

$$= (510 - 680) \text{ mm}$$

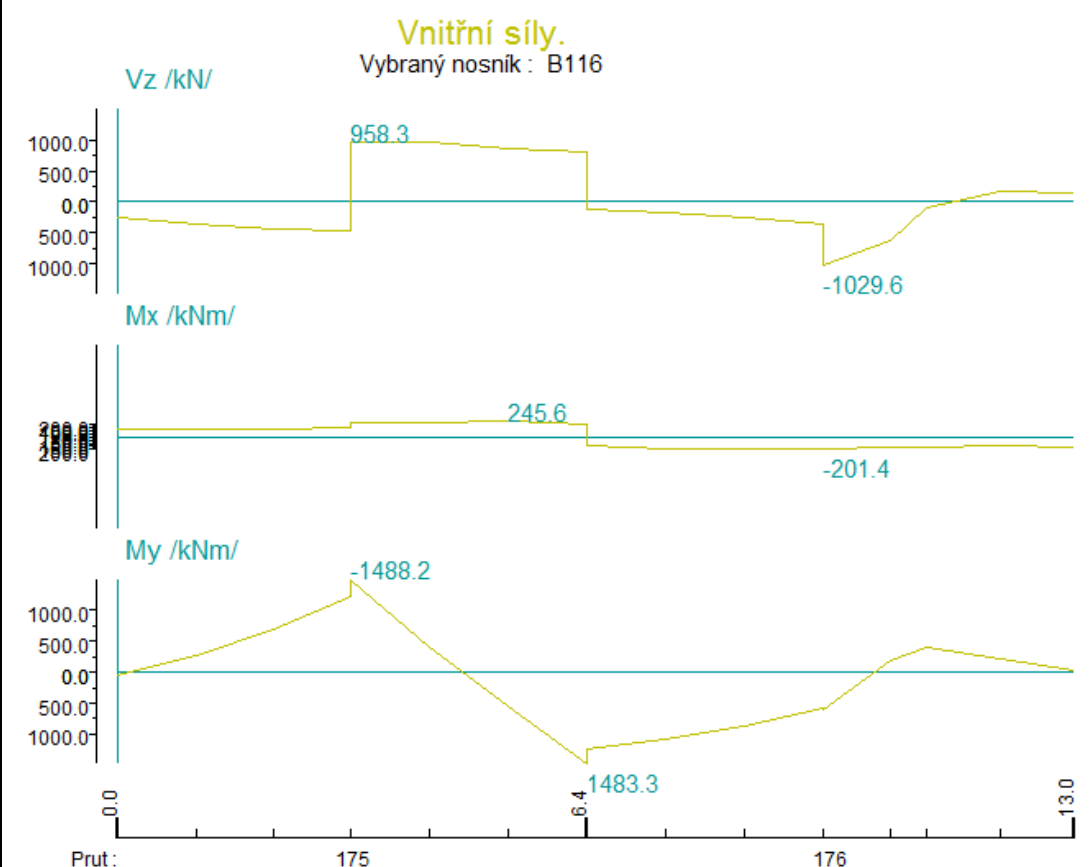
$$b_T = 800 \text{ mm}$$

Obr. 11 Rozměry průvlaku

Šířka průvlaku je navýšena z estetického hlediska.

Návrh výšky průvlaku $h_T = 1020 \text{ mm}$ a šířku průvlaku $b_T = 800 \text{ mm}$.

Vnitřní síly na průvlaku v 1.NP vychází z 3D modelu celé konstrukce.



Obr. 12 Vnitřní síly na průvlaku v 1.NP

Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = 1488,2 \text{ kNm (mezipodporový moment)}$$

$$d_T = h_T - c - \frac{\phi}{2} - \phi_{T\check{R}} = 1020 - 25 - \frac{22}{2} - 12 = 972 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_T \cdot d_T^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1488,2 \cdot 10^6}{800 \cdot 972^2 \cdot 20} = 0,099$$

$$\zeta = 0,949 \text{ (Tabulky)}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1488,2 \cdot 10^6}{0,949 \cdot 972 \cdot 434,78} = 3710,8 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = \pi \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{22}{2}\right)^2 = 380,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{NÁVRH} \quad \mathbf{10 \times \phi 22 \text{ mm} (A_{s,prov} = 3801,0 \text{ mm}^2)}$$

Splnění podmínek:

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,prov} \geq A_{s,min}$$

$$A_{s,prov} \geq \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d ; 0,0013 \cdot b \cdot d\right)$$

$$A_{s,prov} \geq \max\left(0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 800 \cdot 972 ; 0,0013 \cdot 800 \cdot 972\right)$$

$$A_{s,prov} \geq \max(1172,6 ; 1010,88)$$

$$3801,0 \text{ mm}^2 \geq 1172,6 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

$$A_{s,prov} \leq 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 800 \cdot 1020$$

$$3801,0 \text{ mm}^2 \leq 32640 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže

$$s \leq \min(2h ; 250) = \min(2 \cdot 1020 ; 250)$$

$$73 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm}$$

Návrh splňuje podmínky a lze vyztužit v souladu s požadavky normy.

Posouzení

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{3801,0 \cdot 435}{0,8 \cdot 800 \cdot 20} = 129,2 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 972 - 0,4 \cdot 129,2 = 920,32 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 3801,0 \cdot 434,78 \cdot 920,32$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$1520,9 \text{ kNm} > 1488,2 \text{ kNm}$$

Ověření z hlediska ohybového namáhání

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{129,2}{972} = 0,133$$

Hodnota ξ není větší než 0,35, není proto nutné zvyšovat průřez.

Maximální únosnost tlačené diagonály

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0,528 \cdot 20 \cdot 800 \cdot 920,32 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} = 3588,4 \text{ kN}$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

Maximální únosnost pro smykovou výztuž

$$V_{Rd,max} > V_{Ed}$$

$$3588,4 \text{ kN} > 1029,6 \text{ kN} \text{ ...vyhovuje}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{452,4 \cdot 435}{s} \cdot 920,32 \cdot 1,5 \rightarrow V_{Ed} = 1029,6 \text{ kN}$$

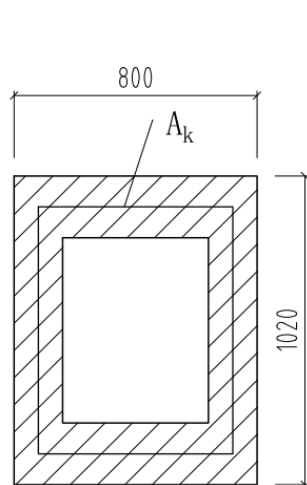
$$A_{sw} = n \cdot \left(\frac{\pi \cdot \phi_{sw}^2}{4}\right) = 4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 12^2}{4}\right) = 452,4 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{452,4 \cdot 435}{1029,6} \cdot 920,32 \cdot 1,5 = 263,9 \text{ mm}$$

NÁVRH čtyřstřížný třmínek Ø12 mm po 200 mm

Posouzení kroucení

Průvlak je součástí roštu, proto je nutné posouzení kroucení.



$$A = 816000 \text{ mm}^2$$

$$u = 3640 \text{ mm (vnější obvod)}$$

Účinná tloušťka stěny

$$t_{ef} = \frac{A}{u} = \frac{816000}{3640} = 224,2 \text{ mm}$$

Omezení

$$2. a \leq t_{ef} \leq t_w$$

$$2. \left(25 + 12 + \frac{22}{2} \right) \leq 224,2 \leq 800$$

$$96 \leq 224,2 \leq 800 \text{ ...vyhovuje}$$

Obr. 13 Schéma průřezu – kroucení

Účinné jádro

$$b_k = b - t_{ef} = 8700 - 224,2 = 575,8 \text{ mm}$$

$$h_k = h - t_{ef} = 1020 - 224,2 = 795,8 \text{ mm}$$

$$A_k = b_k \cdot h_k = 575,8 \cdot 795,8 = 458221 \text{ mm}^2$$

$$u_k = 2 \cdot (b_k + h_k) = 2 \cdot (575,8 + 795,8) = 2743,2 \text{ mm}^2$$

Tlačená diagonála

$$T_{Rd,max} = 2 \cdot v \cdot \alpha_c \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t_{ef} \cdot \sin\theta \cdot \cos\theta = 2,0 \cdot 528,0 \cdot 75 \cdot 20 \cdot 458221 \cdot 224,2 \cdot \sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ$$

$$= 813 \text{ kN}$$

α_c – redukční součinitel tlačené betonové vzpěry (uvažuji $\alpha_c = 0,75$)

$$T_{Rd,max} > T_{Ed} = 245,6 \text{ kN}$$

$$813 \text{ kN} > 245,6 \text{ kN}$$

Rozměry průřezu a uvažovaná třída betonu vyhovují.

Maximální únosnost

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} \leq 1,0$$

$$\frac{245,6}{813} + \frac{1029,6}{3588,4} = 0,59 \leq 1,0 \text{ ..vyhovuje}$$

Požadovaná průřezová plocha

$$A_{sw} = n \cdot \left(\frac{\pi \cdot \sigma_{sw}^2}{4} \right) = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 12^2}{4} \right) = 177,6 \text{ mm}^2$$

NÁVRH dvojstřížný třmínek Ø12 mm po 400 mm

$$A_{sw,t} = \frac{T_{Ed} \cdot S_{wt}}{2 \cdot A_k \cdot \cot \theta \cdot f_{ywd}} = \frac{245,6 \cdot 400}{2 \cdot 458221,1 \cdot 5,435} = 164,3 \text{ mm}^2$$

$$A_{sw} > A_{sw,t}$$
$$177,6 \text{ mm}^2 > 164,3 \text{ mm}^2 \text{ ...vyhovuje}$$

Závěr:

Předběžně navržené rozměry prvků roštu vyhovují.

5 Dynamické namáhání konstrukce

Účinky větru na konstrukci závisí především na velikosti, tvaru a dynamických vlastnostech konstrukce. Dle normy ČSN EN 1991-1-4 se počítá odezva konstrukce z maximálního dynamického tlaku q_p , ze součinitelů sil a tlaků a ze součinitele konstrukce $c_s c_d$, přičemž součinitel c_s zohledňuje účinek redukce zatížení větrem v důsledku nesoučasného výskytu maximálních tlaků a c_d , který uvažuje zvýšené zatížení od kmitání.

V této normě je také uveden graf hodnot součinitele $c_s c_d$ pro různé typy konstrukcí a to v závislosti na výšce a šířce objektu. Hodnoty jsou spočteny dle předpokladu logaritmického dekrementu konstrukčního útlumu $\delta_s = 0,1$ a základní rychlosti větru $v_b = 28 \text{ m/s}$ a pro II. a III. kategorii terénu. Právě z toho grafu lze pro vysokopodlažní betonovou stavbu použít součinitel $c_s c_d$ roven 1,0.

Na rozdíl od normy ČSN EN 1991-1-4 se již v neplatné normě ČSN 73 0035 silové účinky a vynucená přemístění rozdělují na statické (nevyvolává významné zrychlení konstrukce) a dynamické (vyvolává významná zrychlení konstrukce) zatížení. Statické zatížení bylo započítáno vždy, kdežto dynamické bylo započítáno pouze v některých případech, které norma definovala. Odezvu na dynamickou složku bylo eventuálně možné řešit kvazistatickým výpočtem.

V našem objektu rekonstrukce síla by musela být dynamická složka započítána, pokud by vlastní frekvence byla menší než 4 Hz. V programu Scia Engineer, kde byl proveden výpočetní model konstrukce, byly spočítány první čtyři vlastní frekvence konstrukce.

Vlastní frekvence

N	f [Hz]	omega [1/s]	omega ² [1/s ²]	T [s]
Kombinace hmot : CM1				
1	5,49	34,52	1191,96	0,18
2	6,47	40,64	1651,55	0,15
3	7,60	47,78	2283,08	0,13
4	7,64	48,00	2303,65	0,13

Tab. 2 Vlastní frekvence konstrukce

První vlastní frekvence konstrukce je 5,49 Hz a je tedy vyšší než definované kritérium. Z tohoto důvodu se dynamická složka do výpočtu neuvažuje.

6 Sloupy podpírající nástavbu

Charakteristika průřezu

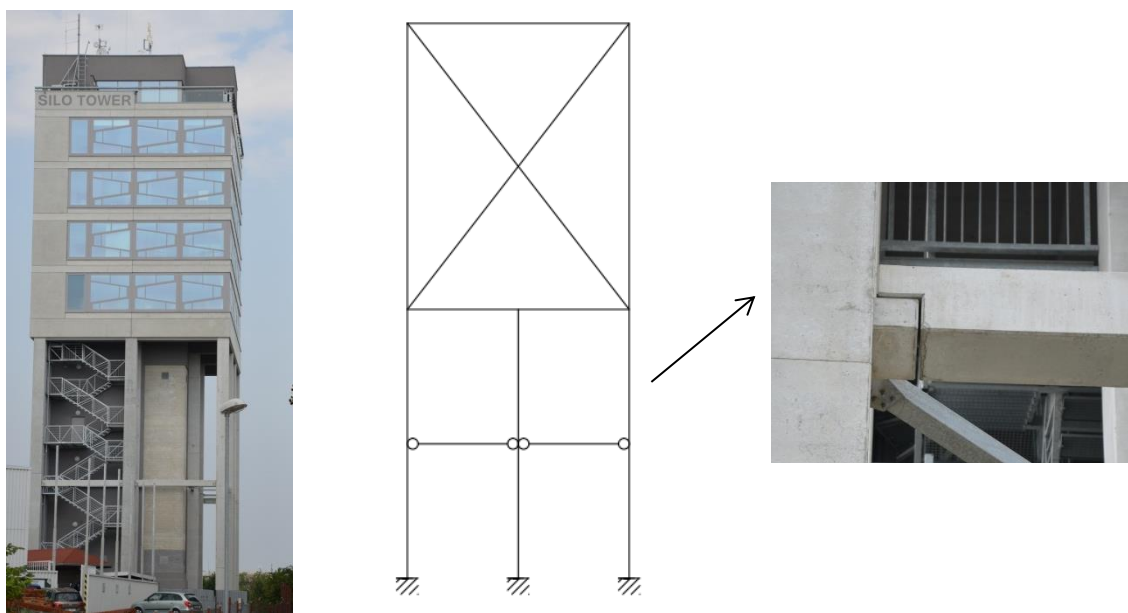
Sloup 800 x 800 [mm]

$$I_y = I_z = 3,4133 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$$

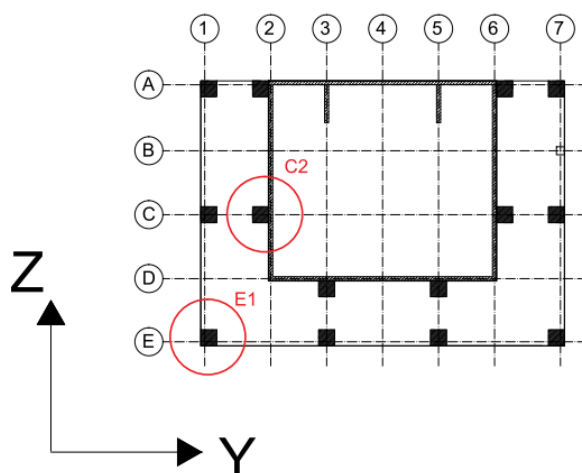
$E = 32\,000 \text{ MPa}$

$l = 19,41 \text{ m}$

l_o – viz účinná délka tlačného prvku



Obr. 14 Fotografie konstrukce se ztužením, statické schéma, detail uložení



Obr. 15 Zavedení souřadnicového systému, vybrané sloupy pro detailní výpočet

6.1 Stanovení vzpěrné délky prutu dle ČSN EN 1992-1-1

Účinná délka tlačенého sloupu E1 za předpokladu, že konstrukce je ztužena dostatečně

V ose Y

$$\varphi_y = 0,25 \text{ mrad}$$

$$m_y = 156,26 \text{ kNm}$$

(odečteno z modelu)

$$K_{1y} = 0 \text{ (vetknutí)}$$

$$K_{2y} = \left(\frac{\varphi_y}{M}\right) \cdot \left(\frac{EI}{l}\right) = \frac{0,25}{156,26} \cdot \frac{32000 \cdot 3,4133 \cdot 10^{-2}}{19,41} = 0,0900$$

V ose Z

$$\varphi_z = 0,3 \text{ mrad}$$

$$m_z = 190,39 \text{ kNm}$$

(odečteno z modelu)

$$K_{1z} = 0 \text{ (vetknutí)}$$

$$K_{2z} = \left(\frac{\varphi_z}{M}\right) \cdot \left(\frac{EI}{l}\right) = \frac{0,3}{190,39} \cdot \frac{32000 \cdot 3,4133 \cdot 10^{-2}}{19,41} = 0,0886$$

Vzpěrná délka v ose Y

$$\begin{aligned} l_{0y} &= l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}} ; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \right\} = \\ &= l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{0 \cdot 0,0900}{0 + 0,0900}} ; \left(1 + \frac{0}{1 + 0}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,0900}{1 + 0,0900}\right) \right\} = \\ &= l \cdot \max\{1 ; 1,0825\} = 19,41 \cdot 1,0825 = 21,01 \text{ m} \end{aligned}$$

Vzpěrná délka v ose Z

$$\begin{aligned} l_{0z} &= l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}} ; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \right\} = \\ &= l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{0 \cdot 0,0886}{0 + 0,0886}} ; \left(1 + \frac{0}{1 + 0}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,0886}{1 + 0,0886}\right) \right\} = \\ &= l \cdot \max\{1 ; 1,0814\} = 19,41 \cdot 1,0814 = 20,99 \text{ m} \end{aligned}$$

Vzpěrná délka sloupu E1 se ztužením		
	Scia Engineer	Ruční výpočet
l_{0y}	20,245 m	21,01 m
l_{0z}	19,725 m	20,99 m

Vzpěrná délka z programu Scia Engineer uvádí podobnou hodnotu jako je hodnota vypočtená ručním výpočtem.

Účinná délka tlačného sloupu E1 za předpokladu, že konstrukce není ztužena dostatečně**V ose Y**

$$\varphi_y = 0,2 \text{ mrad}$$

$$m_y = 96,78 \text{ kNm}$$

(odečteno z modelu)

$$K_{1y} = 0 \text{ (vetknutí)}$$

$$K_{2y} = \left(\frac{\varphi_y}{M}\right) \cdot \left(\frac{EI}{l}\right) = \frac{0,2}{207,4} \cdot \frac{32000 \cdot 3,4133 \cdot 10^{-2}}{19,41} = 0,1163$$

V ose Z

$$\varphi_z = 0,3 \text{ mrad}$$

$$m_z = 156,00 \text{ kNm}$$

(odečteno z modelu)

$$K_{1z} = 0 \text{ (vetknutí)}$$

$$K_{2z} = \left(\frac{\varphi_z}{M}\right) \cdot \left(\frac{EI}{l}\right) = \frac{0,3}{156,00} \cdot \frac{32000 \cdot 3,4133 \cdot 10^{-2}}{19,41} = 0,1082$$

Vzpěrná délka v ose Y

$$\begin{aligned} l_{0y} &= l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}} ; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \right\} = \\ &= l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{0 \cdot 0,1163}{0 + 0,1163}} ; \left(1 + \frac{0}{1 + 0}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,1163}{1 + 0,1163}\right) \right\} = \\ &= l \cdot \max\{1 ; 1,1040\} = 19,41 \cdot 1,1040 = 21,43 \text{ m} \end{aligned}$$

Vzpěrná délka v ose Z

$$\begin{aligned} l_{0z} &= l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{k_1 \cdot k_2}{k_1 + k_2}} ; \left(1 + \frac{k_1}{1 + k_1}\right) \cdot \left(1 + \frac{k_2}{1 + k_2}\right) \right\} = \\ &= l \cdot \max \left\{ \sqrt{1 + 10 \cdot \frac{0 \cdot 0,1082}{0 + 0,1082}} ; \left(1 + \frac{0}{1 + 0}\right) \cdot \left(1 + \frac{0,1082}{1 + 0,1082}\right) \right\} = \\ &= l \cdot \max\{1 ; 1,0976\} = 19,41 \cdot 1,0976 = 21,31 \text{ m} \end{aligned}$$

Vzpěrná délka sloupu E1 bez ztužení		
	Scia Engineer	Ruční výpočet
l_{0y}	20,287 m	21,43 m
l_{0z}	19,922 m	21,31 m

Vzpěrná délka z programu Scia Engineer uvádí podobnou hodnotu jako je hodnota vypočtená ručním výpočtem.

Vzpěrná délka sloupu E1		
	Se ztužením	Bez ztužení
l_{oy}	20,245 m	20,287 m
l_{oz}	19,725 m	19,922 m

Vzpěrná délka na objektu se ztužením je mírně menší než na objektu bez ztužení. Lze tedy usuzovat, že navržené ztužující prvky konstrukcí jako celek příliš neovlivňují a jsou zde spíše z architektonických důvodů. Vnitřní síly pro výpočty excentricit budou odečteny na modelu bez ztužení.

6.2 Stanovení vzpěrné délky prutu dle ČSN P ENV 1992-1-1

Jedná se o alternativní výpočet vzpěrné délky dle již neplatné normy ČSN P ENV 1992-1-1. Správné stanovení vzpěrné délky l_0 , které vystihne jeho působení v konstrukci se provede zjištěním hodnoty β , kterým se přenásobí délka prutu. Hodnota β se vyčte z grafu viz Obr. 17, který je závislý na tuhostech podepření.

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.

Obr. 16 Schéma momentů setrvačnosti u příslušných styčníků [2]

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.

Obr. 17 Graf k určení hodnoty β , dle normy ČSN P ENV 1992-1-1 [2]

Účinná délka tlačného sloupu E1 bez ztužení

Vzpěrná délka v ose Y

$$k_A = \frac{\frac{I_{col1}}{l_{col1}} + \frac{I_{col2}}{l_{col2}}}{\frac{I_{b1}}{l_{b1}} + 0,5 \cdot \frac{I_{b2}}{l_{b2}}} = \frac{\frac{3,4133 \cdot 10^{-2}}{19,41} + \frac{1,5552 \cdot 10^{-3}}{3,48}}{0,5 \cdot \frac{6,6667 \cdot 10^{-2}}{6,1}} = 0,404$$

$$k_b = 0 \text{ (vetknutý konec)}$$

Z grafu lze odečíst přibližně hodnota $\beta = 1,08$ Minimální doporučená hodnota $\beta = 1,12$

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.

Obr. 18 Určení hodnoty β (vzpěrná délka v ose y) [2]

$$l_0 = \beta \cdot l = 1,12 \cdot 19,41 = 21,74 \text{ m}$$

Vzpěrná délka v ose Z

$$k_A = \frac{\frac{I_{col1}}{l_{col1}} + \frac{I_{col2}}{l_{col2}}}{\frac{I_{b1}}{l_{b1}} + 0,5 \cdot \frac{I_{b2}}{l_{b2}}} = \frac{\frac{3,4133 \cdot 10^{-2}}{19,41} + \frac{1,92 \cdot 10^{-3}}{3,48}}{0,5 \cdot \frac{6,6667 \cdot 10^{-2}}{6,36}} = 0,441$$

$$k_b = 0 \text{ (vetknutý konec)}$$

Z grafu lze odečíst přibližně hodnota $\beta = 1,09$

Minimální doporučená hodnota $\beta = 1,12$

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.

Obr. 19 Určení hodnoty β (vzpěrná délka v ose z) [2]

$$l_0 = \beta \cdot l = 1,12 \cdot 19,41 = 21,74 \text{ m}$$

Srovnání výsledků vzpěrných délek

Vzpěrná délka sloupu E1 bez ztužení			
	Scia Engineer	ČSN EN 1992-1-1	ČSN P ENV 1992-1-1
l_{0y}	20,287 m	21,43 m	21,74 m
l_{0z}	19,922 m	21,31 m	21,74 m

6.3 Vnitřní síly na sloupech E1 a C2

VNITŘNÍ SÍLY NA SLOUPU E1 A C2					
KOMBINACE	POZICE		My [kNm]	Mz [kNm]	N [kN]
STÁLÉ	Sloup E1 (rohový)	H	-96,78	156,00	1161,66
		D	52,52	-121,66	1572,95
	Sloup C2 (střední)	H	-140,83	116,62	1627,75
		D	71,62	-103,42	2039,04
STÁLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ	Sloup E1 (rohový)	H	-116,59	226,35	1221,79
		D	72,97	-201,28	1633,08
	Sloup C2 (střední)	H	-162,89	209,42	1738,75
		D	87,43	-197,12	2150,04
STÁLÉ + VÍTR PODÉLNÝ	Sloup E1 (rohový)	H	-201,22	103,12	1212,44
		D	164,87	-63,24	1623,73
	Sloup C2 (střední)	H	-209,54	89,11	1660,81
		D	138,22	-72,14	2072,10
CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY - VÍTR PŘÍČNÝ	Sloup E1 (rohový)	H	-83,12	159,39	882,11
		D	51,58	-140,75	1186,77
	Sloup C2 (střední)	H	-116,07	145,93	1248,63
		D	62,10	-139,97	1553,29
CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY - VÍTR PODÉLNÝ	Sloup E1 (rohový)	H	-139,54	77,24	875,88
		D	112,85	-48,72	1180,54
	Sloup C2 (střední)	H	-147,17	65,73	1196,67
		D	95,96	-53,65	1501,33
EXTRÉMNÍ HODNOTY - VÍTR PŘÍČNÝ	Sloup E1 (rohový)	H	-92,31	188,14	917,67
		D	59,77	-171,77	1191,87
	Sloup C2 (střední)	H	-129,23	180,97	1336,18
		D	70,28	-172,12	1610,38
EXTRÉMNÍ HODNOTY - VÍTR PODÉLNÝ	Sloup E1 (rohový)	H	-176,94	64,92	908,33
		D	151,67	-33,73	1182,52
	Sloup C2 (střední)	H	-175,88	60,67	1258,24
		D	121,06	-47,13	1532,44
ŠACHOVNICE 1	Sloup E1 (rohový)	H	-55,85	143,50	1165,43
		D	44,72	-109,08	1576,72
	Sloup C2 (střední)	H	-107,98	100,63	1431,73
		D	54,66	-88,68	1843,02
ŠACHOVNICE 2	Sloup E1 (rohový)	H	-75,73	115,62	879,15
		D	43,23	-94,17	1290,44
	Sloup C2 (střední)	H	-130,36	103,60	1302,57
		D	66,48	-90,15	1713,86
ŠACHOVNICE 3	Sloup E1 (rohový)	H	-67,08	122,00	880,04
		D	36,75	-99,68	1291,33
	Sloup C2 (střední)	H	-117,12	117,12	1355,73
		D	59,39	-98,35	1767,02
KVAZISTÁLÁ KOMBINACE	Sloup E1 (rohový)	H	-57,85	91,71	715,45
		D	31,41	-71,01	1020,11
	Sloup C2 (střední)	H	-81,12	68,17	963,43
		D	41,31	-60,11	1268,08

Výstupy z 3D
modelu – viz
kapitola 3

Tab. 3 Vnitřní síly na sloupu E1 a C2 pro různé kombinace zatížení

6.4 Kritérium štíhlosti

$$\lambda = \frac{l_o}{i} \leq \lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

Praktický postup v ose y pro sloup E1

Hodnoty momentů a normálové síly pro krajní sloup (3D model bez ztužení)

$$M_y = (-96,78 ; 52,52) \text{ kNm}$$

$$M_z = (156,00 ; -121,66) \text{ kNm}$$

$$N = (-1161,66 ; 1572,95) \text{ kN}$$

Vnitřní síly bez vlivu imperfekcí

$$M_{top} = -96,78 \text{ kNm}$$

$$M_{bot} = 52,52 \text{ kNm}$$

$$e_{top} = \frac{|M_{top}|}{|N|} = \frac{96,78}{1161,66} = 83,3 \text{ mm}$$

$$e_{bot} = \frac{|M_{bot}|}{|N|} = \frac{52,52}{1572,95} = 33,4 \text{ mm}$$

$$e_{0,top} = e_{top} + e_i = 83,3 + 50,7 = 134,0 \text{ mm}$$

$$e_{0,bot} = e_{bot} + e_i = 33,4 + 50,7 = 84,1 \text{ mm}$$

$$e_i = \frac{l_o}{400} = \frac{20,287 \cdot 10^3}{400} = 50,7 \text{ mm}$$

Vnitřní síly s vlivem výstřednosti

$$M_{02} = M_{top} + e_i \cdot N_{Ed} = 96,78 + 0,0507 \cdot 1161,66 = 155,67 \text{ kNm}$$

$$M_{01} = M_{bot} + e_i \cdot N_{Ed} = 52,52 + 0,0507 \cdot 1572,95 = 132,27 \text{ kNm}$$

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}} = -\frac{132,27}{155,67} = -0,850$$

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{1161,66}{0,8 \cdot 0,8 \cdot 20000} = 0,091$$

$$C = 1,7 - r_m = 1,7 - (-0,850) = 2,55$$

Štíhlost sloupu

$$\lambda = \frac{3,46 \cdot l_o}{h} = \frac{3,46 \cdot 20,287 \cdot 10^3}{800} = 87,75$$

 l_o – účinná délka tlačенého prvku dle Scia Engineer viz str. 35

Omezení štíhlosti s vypočtenou hodnotou C

$$\lambda_{lim} = \frac{15,4 \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{15,4 \cdot 2,55}{\sqrt{0,091}} = 130,17$$

$$\lambda < \lambda_{lim}$$

87,75 < 130,17 ...sloup je masivní

Omezení štíhlosti s doporučenou hodnotou C = 0,7

$$\lambda_{lim} = \frac{15,4 \cdot C}{\sqrt{n}} = \frac{15,4 \cdot 0,7}{\sqrt{0,091}} = 35,73$$

$$\lambda > \lambda_{lim}$$

87,75 > 35,73 ...sloup je štíhlý

Při uvažování doporučené hodnoty C je sloup štíhlý a je třeba stanovit excentricitu e_2 .

Parametry sloupu	Ocel B500B - mez kluzu	f _{yd}	435	MPa				
	Třída betonu		C 30/37					
	Návrhová pevnost betonu	f _{cd}	20,00	Mpa				
	Vzpěrná délka	l _o	20287	mm				
	Rozměr ve směru přetvoření	h	800	mm				
	Rozměr b	b	800	mm				
Bez vlivu imperfekcí	Normálová síla	N _{top}	-1161,66	kN				
	Normálová síla	N _{bot}	-1572,95	kN				
	Moment M _{top} (max.:M _{top} ,M _{bot})	M _{top}	-96,78	kNm				
	Moment M _{bot} (min.:M _{top} ,M _{bot})	M _{bot}	52,52	kNm				
Výstřednosti	Výstřednost síly N e _f	e _{top}	83,312	mm	>	20	mm	PRAVDA
	Výstřednost síly N e _f	e _{bot}	33,389	mm	>	20	mm	PRAVDA
	Náhodná výstřednost e _i	e _i	50,718	mm				
	Výstřednost e _i +e _f	e _{0, top}	134,029	mm	>	27	mm	PRAVDA
	Výstřednost e _i +e _f	e _{0, bot}	84,107	mm	>	27	mm	PRAVDA
S vlivem imperfekcí	Moment M ₀₂	M ₀₂	155,6965	kNm				
	Moment M ₀₁	M ₀₁	132,2961	kNm				
		M ₀₂	>	M ₀₁				PRAVDA

Tab. 4 Vstupní hodnoty pro výpočet

6.5 Metoda založená na jmenovité křivosti

Stanovení excentricity druhého řádu (metoda založená na jmenovité křivosti)- Návrh					
Křivost	K_r	1,000	[-]	<1	PRAVDA
Poměrná návrhová normálová síla	n	0,091	[-]	<1	PRAVDA
	n_u	1,435	[-]		
	ω	0,435	[-]		
	$A_{s,et}$	12800	mm ²	Návrh 2%vyztužení	
	A_c	640000	mm ²		
	n_{bal}	0,4	[-]		
Účinek dotvarování - křivost	K_φ	1,00	[-]	>1	PRAVDA
Ohyb.moment pro kvazistálé zatížení	M_{0Eqp}	57,85	kNm		
Ohyb.moment od návrh.kombinace	M_{0Ed}	62,28	kNm		
	φ_{ef}	2,32	[-]		
	h_0	400	mm		
	φ	2,5		Prostředí RH50%	
				Cement N	
	β	-0,085	[-]		
Excentricita	e_2	262,78	mm		
Účinná výška průřezu	d	757	mm	Odhad při \emptyset	
Ohybový moment druhého řádu	M_2	305,26	kNm		
Návrhový moment sloupu	M_{Ed}	367,54	kNm		

Tab. 5 Stanovení excentricity druhého řádu dle metody založené na jmenovité křivosti

Vzorce použité v Tab. 5

$$K_r = \frac{(n_u - n)}{(n_u - n_{bal})}$$

Křivost

$$\omega = \frac{A_{s,est} \cdot f_{yd}}{A_c \cdot f_{cd}}$$

Mechanický stupeň vyztužení

$$r_m = \frac{M_{01}}{M_{02}}$$

Poměr ohybových momentů 1. řádu

$$n = \frac{|N_{Ed}|}{A_c \cdot f_{cd}}$$

Poměrná normálová síla

$$K_\varphi = 1 + \beta \cdot \varphi_{ef}$$

Křivost (účinek dotvarování)

$$\varphi_{ef} = \frac{\varphi(\infty, t_0) \cdot M_{0Eqp}}{M_{0Ed}}$$

Účinný součinitel dotvarování

$$e_2 = 0,1 \frac{K_r \cdot K_\varphi \cdot f_{yd}}{0,45 \cdot d \cdot E_s} \cdot l_0^2$$

Deformace vyvolaná účinky druhého řádu

VNITŘNÍ SÍLY NA SLOUPU E1 A C2 + ZVĚTŠENÉ VNITŘNÍ SÍLY VLIVEM ŠTÍHLOSTI							
						JMENOVITÁ KŘIVOST	
KOMBINACE	POZICE		MY [kNm]	MZ [kNm]	N [kN]	MY,ROZ [kNm]	MZ,ROZ [kNm]
SVISLÉ ZATÍŽENÍ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-96,78	156,00	1161,66	367,54	379,91
		D	52,52	-121,66	1572,95		
	C2	H	-140,83	116,62	1627,75	499,26	497,60
		D	71,62	-103,42	2039,04		
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-116,59	226,35	1221,79	392,48	437,42
		D	72,97	-201,28	1633,08		
	C2	H	-162,89	209,42	1738,75	538,29	565,47
		D	87,43	-197,12	2150,04		
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-201,22	103,12	1212,44	423,69	372,64
		D	164,87	-63,24	1623,73		
	C2	H	-209,54	89,11	1660,81	535,74	495,76
		D	138,22	-72,14	2072,10		
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)	E1	H	-83,12	159,39	882,11	282,74	311,62
		D	51,58	-140,75	1186,77		
	C2	H	-116,07	145,93	1248,63	386,20	404,29
		D	62,10	-139,97	1553,29		
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)	E1	H	-139,54	77,24	875,88	303,75	270,30
		D	112,85	-48,72	1180,54		
	C2	H	-147,17	65,73	1196,67	383,33	357,65
		D	95,96	-53,65	1501,33		
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (EXTRÉMNÍ HODNOTY)	E1	H	-92,31	188,14	917,67	296,68	347,40
		D	59,77	-171,77	1191,87		
	C2	H	-129,23	180,97	1336,18	415,28	442,57
		D	70,28	-172,12	1610,38		
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (EXTRÉMNÍ HODNOTY)	E1	H	-176,94	64,92	908,33	330,99	272,24
		D	151,67	-33,73	1182,52		
	C2	H	-175,88	60,67	1258,24	412,74	372,85
		D	121,06	-47,13	1532,44		
ŠACHOVNICE 1	E1	H	-55,85	143,50	1165,43	352,23	375,94
		D	44,72	-109,08	1576,72		
	C2	H	-107,98	100,63	1431,73	432,78	436,90
		D	54,66	-88,68	1843,02		
ŠACHOVNICE 2	E1	H	-75,73	115,62	879,15	279,15	286,54
		D	43,23	-94,17	1290,44		
	C2	H	-130,36	103,60	1302,57	406,59	402,31
		D	66,48	-90,15	1713,86		
ŠACHOVNICE 3	E1	H	-67,08	122,00	880,04	275,94	289,34
		D	36,75	-99,68	1291,33		
	C2	H	-117,12	117,12	1355,73	415,76	422,44
		D	59,39	-98,35	1767,02		

Tab. 6 Vnitřní síly na sloupu E1 a C2 pro různé kombinace zatížení + zvětšené rozhodující síly vlivem štíhlosti (metoda založená na jmenovité křivosti)

6.6 Metoda založená na jmenovité tuhosti

Stanovení excentricity druhého řádu (metoda založená na jmenovité tuhosti)- Návrh					
Ohyb.moment pro kvazistálé zatížení	MoEqp	57,85	kNm		
Ohyb.moment od návrh.kombinace	MoEd	62,28	kNm		
	φ_{ef}	2,32	[-]		
	φ	2,5		Prostředí RH50%	
				Cement N	
Při vyztužení $\rho \geq 0,002$					
Opravný součinitel - trhliny, dotvarování	Kc	0,074			
	K1	1,225			
	K2	0,200		<0,2	
Modul pružnosti - střední hodnota	Ecm	32	Gpa		
Součinitel spolehlivosti	γ_{cE}	1,2			
Návrh. hodnota modulu pružnosti betonu	Ecd	26,67	GPa		
Momenty setrvačnosti	Is	0,00028	m^4		
Moment setrvačnosti bet. Průřezu	Ic	0,034133	m^4		
Jmenovitá tuhost	EI	122,91	MNm^2		
Eulerovo kritické břemeno	NB	2944,52	kN		
$\beta = \pi^2/8$	β	1,232			
Med		150,27	kNm		
Med,rozhodující		176,29	kNm		

Tab. 7 Stanovení excentricity druhého řádu dle metody založené na jmenovité tuhosti

Vzorce použité v Tab. 7

$$EI = K_c \cdot E_{cd} \cdot I_c + K_s \cdot E_s \cdot I_s$$

Jmenovitý tuhost

$$K_c = \frac{0,3}{1+0,5 \cdot \varphi_{ef}}$$

Opravný součinitel (účinek trhlin a dotvarování)

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{\gamma_{cE}}$$

Návrhová hodnota modulu pružnosti betonu

$$N_B = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_0^2}$$

Vzpěrné břemeno

$$M_{Ed} = M_{0Ed} \cdot \left[1 + \frac{\beta}{\left(\frac{N_B}{N_{Ed}} \right) - 1} \right]$$

Moment s vlivem druhého řádu

VNITŘNÍ SÍLY NA SLOUPU E1 A C2 + ZVĚTŠENÉ VNITŘNÍ SÍLY VLIVEM ŠTÍHLOSTI						
					JMENOVITÁ TUHOST	
KOMBINACE	POZICE		MY [kNm]	MZ [kNm]	N [kN]	MY,ROZ [kNm]
SVISLÉ ZATÍŽENÍ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-96,78	156,00	1161,66	176,29
		D	52,52	-121,66	1572,95	
	C2	H	-140,83	116,62	1627,75	301,55
		D	71,62	-103,42	2039,04	
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-116,59	226,35	1221,79	204,69
		D	72,97	-201,28	1633,08	
	C2	H	-162,89	209,42	1738,75	345,02
		D	87,43	-197,12	2150,04	
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-201,22	103,12	1212,44	300,83
		D	164,87	-63,24	1623,73	
	C2	H	-209,54	89,11	1660,81	351,28
		D	138,22	-72,14	2072,10	
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)	E1	H	-83,12	159,39	882,11	135,96
		D	51,58	-140,75	1186,77	
	C2	H	-116,07	145,93	1248,63	192,29
		D	62,10	-139,97	1553,29	
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)	E1	H	-139,54	77,24	875,88	200,06
		D	112,85	-48,72	1180,54	
	C2	H	-147,17	65,73	1196,67	221,43
		D	95,96	-53,65	1501,33	
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (EXTRÉMNÍ HODNOTY)	E1	H	-92,31	188,14	917,67	145,28
		D	59,77	-171,77	1191,87	
	C2	H	-129,23	180,97	1336,18	208,60
		D	70,28	-172,12	1610,38	
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (EXTRÉMNÍ HODNOTY)	E1	H	-176,94	64,92	908,33	241,29
		D	151,67	-33,73	1182,52	
	C2	H	-175,88	60,67	1258,24	252,78
		D	121,06	-47,13	1532,44	
ŠACHOVNICE 1	E1	H	-55,85	143,50	1165,43	167,28
		D	44,72	-109,08	1576,72	
	C2	H	-107,98	100,63	1431,73	233,96
		D	54,66	-88,68	1843,02	
ŠACHOVNICE 2	E1	H	-75,73	115,62	879,15	136,40
		D	43,23	-94,17	1290,44	
	C2	H	-130,36	103,60	1302,57	218,90
		D	66,48	-90,15	1713,86	
ŠACHOVNICE 3	E1	H	-67,08	122,00	880,04	129,46
		D	36,75	-99,68	1291,33	
	C2	H	-117,12	117,12	1355,73	219,54
		D	59,39	-98,35	1767,02	

Tab. 8 Vnitřní síly na sloupu E1 a C2 pro různé kombinace zatížení + zvětšené rozhodující síly vlivem štíhlosti (metoda založená na jmenovité tuhosti)

6.7 Iterační metoda - účinky 2. řádu zavedeny výstředností

Deformace konstrukce po zatížení jsou iteračně vkládány do 3D modelu, vytvořeného v programu Scia Engineer. Spočtené momenty s vlivem deformace tlačných prutů jsou následně zvětšeny o imperfekce dle ČSN EN 1992-1-1. Zvětšené vnitřní síly jsou spočteny pouze pro kombinace svislého zatížení s příčným větrem v návrhových hodnotách a svislého zatížení s podélným větrem v návrhových hodnotách. Tyto dvě kombinace byly v předchozích výpočtech založených na jmenovité křivosti či jmenovité tuhosti rozhodující.

VNITŘNÍ SÍLY NA SLOUPU E1 A C2 + ZVĚTŠENÉ VNITŘNÍ SÍLY VLIVEM ŠTÍHLOSTI						
IMPERFEKCE DLE ČSN EN 1991-1-1 (ÚČINKY PRVNÍHO ŘÁDU)						
		PŮVODNÍ			S VLIVEM IMPERFEKČÍ	
KOMBINACE	POZICE		My [kNm]	Mz [kNm]	N [kN]	My,ROZ [kNm]
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-116,59	226,35	1221,79	-178,55
		D	72,97	-201,28	1633,08	155,80
	C2	H	-162,89	209,42	1738,75	-249,29
		D	87,43	-197,12	2150,04	194,26
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-201,22	103,12	1212,44	-262,71
		D	164,87	-63,24	1623,73	247,22
	C2	H	-209,54	89,11	1660,81	-292,07
		D	138,22	-72,14	2072,10	241,18

VNITŘNÍ SÍLY NA SLOUPU E1 A C2 + ZVĚTŠENÉ VNITŘNÍ SÍLY VLIVEM ŠTÍHLOSTI						
ITERAČNÍ METODA - ÚPRAVA DEFORMACE (ÚČINKY DRUHÉHO ŘÁDU)						
		PŮVODNÍ			ITERAČNÍ METODA	
KOMBINACE	POZICE		My [kNm]	Mz [kNm]	N [kN]	My,ROZ [kNm]
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-116,59	226,35	1221,79	-131,88
		D	72,97	-201,28	1633,08	82,83
	C2	H	-162,89	209,42	1738,75	-170,38
		D	87,43	-197,12	2150,04	90,45
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-201,22	103,12	1212,44	-210,55
		D	164,87	-63,24	1623,73	158,68
	C2	H	-209,54	89,11	1660,81	-219,63
		D	138,22	-72,14	2072,10	138,07

VNITŘNÍ SÍLY NA SLOUPU E1 A C2 + ZVĚTŠENÉ VNITŘNÍ SÍLY VLIVEM ŠTÍHLOSTI						
		PŮVODNÍ			NÁVRHOVÉ MOMENTY	
KOMBINACE	POZICE		My [kNm]	Mz [kNm]	N [kN]	My,ROZ [kNm]
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-116,59	226,35	1221,79	-193,84
		D	72,97	-201,28	1633,08	313,21
	C2	H	-162,89	209,42	1738,75	-256,78
		D	87,43	-197,12	2150,04	343,84
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-201,22	103,12	1212,44	-272,04
		D	164,87	-63,24	1623,73	171,02
	C2	H	-209,54	89,11	1660,81	-302,16
		D	138,22	-72,14	2072,10	202,96

Tab. 9 Vnitřní síly na sloupu E1 a C2 pro různé kombinace zatížení + zvětšené rozhodující síly vlivem štíhlosti (iterační metoda – účinky 2. řádu zavedeny výstředností)

6.8 Iterační metoda - účinky 2. řádu zavedeny vod. silou

Účelem této metody je, aby účinky vyvolané normálovou tlakovou silou a natočením sloupu byly nahrazeny silami, které působí kolmo na prut. Následně probíhá iterační proces, až do doby kdy jsou přídatné natočení stále menší a menší a mohou být tedy zanedbány. Natočení vyvolá přídatné momenty, které jsou zvětšeny o další imperfekce dle ČSN EN 1992-1-1, které ve výpočtu nebyly uvažovány.

VNITŘNÍ SÍLY NA SLOUPU E1 A C2 + ZVĚTŠENÉ VNITŘNÍ SÍLY VLIVEM ŠTÍHLOSTI						
IMPERFEKCE DLE ČSN EN 1991-1-1 (ÚČINKY PRVNÍHO ŘÁDU)						
		PŮVODNÍ			S VLIVEM IMPERFEKČÍ	
KOMBINACE	POZICE		My [kNm]	Mz [kNm]	N [kN]	
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-116,59	226,35	1221,79	-178,55
		D	72,97	-201,28	1633,08	155,80
	C2	H	-162,89	209,42	1738,75	-249,29
		D	87,43	-197,12	2150,04	194,26
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-201,22	103,12	1212,44	-262,71
		D	164,87	-63,24	1623,73	247,22
	C2	H	-209,54	89,11	1660,81	-292,07
		D	138,22	-72,14	2072,10	241,18
VNITŘNÍ SÍLY NA SLOUPU E1 A C2 + ZVĚTŠENÉ VNITŘNÍ SÍLY VLIVEM ŠTÍHLOSTI						
ITERAČNÍ METODA - VODOROVNÁ SÍLA (ÚČINKY DRUHÉHO ŘÁDU)						
		PŮVODNÍ			ITERAČNÍ METODA	
KOMBINACE	POZICE		My [kNm]	Mz [kNm]	N [kN]	
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-116,59	226,35	1221,79	-135,41
		D	72,97	-201,28	1633,08	94,60
	C2	H	-162,89	209,42	1738,75	-196,39
		D	87,43	-197,12	2150,04	108,24
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-201,22	103,12	1212,44	-235,87
		D	164,87	-63,24	1623,73	216,55
	C2	H	-209,54	89,11	1660,81	-243,39
		D	138,22	-72,14	2072,10	169,19
VNITŘNÍ SÍLY NA SLOUPU E1 A C2 + ZVĚTŠENÉ VNITŘNÍ SÍLY VLIVEM ŠTÍHLOSTI						
		PŮVODNÍ			NÁVRHOVÉ MOMENTY	
KOMBINACE	POZICE		My [kNm]	Mz [kNm]	N [kN]	
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-116,59	226,35	1221,79	-197,37
		D	72,97	-201,28	1633,08	320,07
	C2	H	-162,89	209,42	1738,75	-282,79
		D	87,43	-197,12	2150,04	347,46
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-201,22	103,12	1212,44	-297,36
		D	164,87	-63,24	1623,73	196,58
	C2	H	-209,54	89,11	1660,81	-325,92
		D	138,22	-72,14	2072,10	223,66

Tab. 10 Vnitřní síly na sloupu E1 a C2 pro různé kombinace zatížení + zvětšené rozhodující síly vlivem štíhlosti (iterační metoda – účinky 2. řádu zavedeny vodorovnou silou)

6.9 Srovnání

PŮVODNÍ VNITŘNÍ SÍLY - NEZVĚTŠENÉ O Vliv ŠTÍHLOSTI					
SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-116,59	226,35	1221,79
		D	72,97	-201,28	1633,08
	C2	H	-162,89	209,42	1738,75
		D	87,43	-197,12	2150,04
SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	E1	H	-201,22	103,12	1212,44
		D	164,87	-63,24	1623,73
	C2	H	-209,54	89,11	1660,81
		D	138,22	-72,14	2072,10

Tab. 11 Původní vnitřní síly – nezvětšené o vliv štíhlosti

SROVNÁNÍ - ZVĚTŠENÉ VNITŘNÍ SÍLY NA SLOUPU E1 A C2 Vlivem ŠTÍHLOSTI					
		SVISLÉ + VÍTR PŘÍČNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)		SVISLÉ + VÍTR PODÉLNÝ (NÁVRHOVÉ HODNOTY)	
Metoda	Pozice	My,ROZ [kNm]	Mz,ROZ [kNm]	My,ROZ [kNm]	Mz,ROZ [kNm]
JMENOVITÁ KŘIVOST	E1	392,48	437,42	423,69	372,64
	C2	538,29	565,47	535,74	495,76
JMENOVITÁ TUHOST	E1	204,69	354,75	300,83	210,07
	C2	345,02	412,69	351,28	277,45
SCIA - ÚPRAVA VÝSTŘEDNOST	E1	193,84	313,91	272,04	171,02
	C2	256,78	343,87	302,16	202,96
SCIA - ÚPRAVA VODOROVNÁ SÍLA	E1	197,37	320,07	297,36	196,58
	C2	282,79	347,46	325,92	223,66

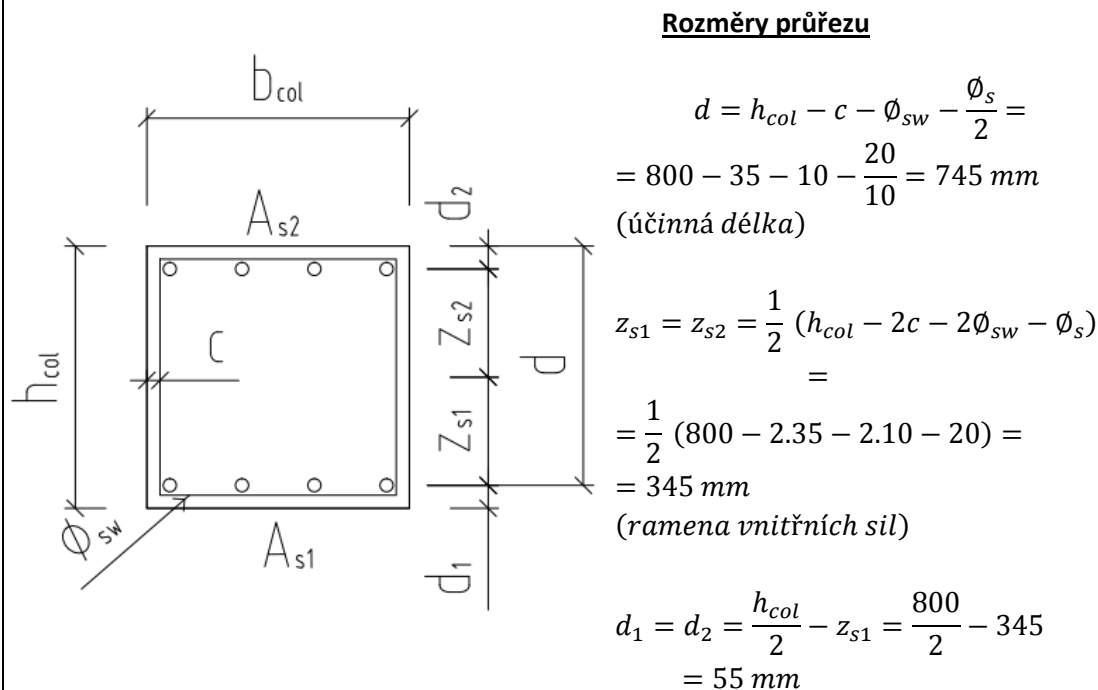
Tab. 12 Srovnání – zvětšené vnitřní síly na sloupy E1 a C2 vlivem štíhlosti

Účinky druhého řádu byly provedeny dle metody založené na jmenovité křivosti, dále metodou založenou na ohybových tuhostech a nakonec iterací v programu Scia Engineer pomocí změn výstředností a vodorovnými silami. Výpočty dle těchto metod vyšly rozdílně. Jako nejvyšší a tím i nejvíce bezpečné vyšly hodnoty dle metody jmenovité křivosti, podle kterých jsem se rozhodl dále postupovat. Tyto hodnoty byly přibližně o 25 % vyšší než hodnoty z ostatních metod. Výsledky z ostatních metod vyšly přibližně stejně.

7 Návrh a posouzení výztuže sloupu

7.1 Zjednodušený postup posouzení průřezu sloupu C2

Veškerá výztuž je uvažována v jedné řadě.



Obr. 20 Rozměry průřezu sloupu

PRŮŘEZOVÉ PARAMETRY	Ocel B500B - mez kluzu	f _{yd}	435	MPa
		σ _s	400	MPa
	Modul pružnosti oceli	E _s	200	Gpa
	Třída betonu		C 30/37	
	Návrhová pevnost betonu	f _{cd}	20,00	MPa
	Char.pevnost betonu	f _{ck}	30,00	MPa
	Mezní přetvoření	ε _{cd}	0,0035	
ROZMĚRY PRŮŘEZU	Rozměry průřezu	h _{col}	800	mm
		b _{col}	800	mm
	Účinná výška průřezu	d	745	mm
	Ramená vnitřních sil	z _{s1/2}	345	mm
	Char.pevnost betonu	d _{1/2}	55	mm
VÝZTUŽENÍ	Profil výztuže	φ _s	20	mm
	Počet ks	b _{col}	7	mm
	Plocha 1 profilu	A _{s,prof}	314,15	mm ²
	Celková plocha výztuže	A _{s1/2}	2199,05	mm ²
	Odhad profilu třmínku	φ _{sw}	10	mm
	Krycí vrstva	c	35	mm

Tab. 13 Průřezové parametry a rozměry posuzovaného průřezu

Body interakčního diagramu**Bod 0**

$$N_{Rd,0} = -\left(b \cdot h \cdot \eta \cdot f_{cd} + \sum A_s \cdot \sigma_s\right) =$$

$$= -(800 \cdot 800 \cdot 1 \cdot 20 + 2199,05 \cdot 400 + 2199,05 \cdot 400) = -14559,24 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,0} = (A_{s2} \cdot z_2 - A_{s1} \cdot z_1) \cdot \sigma_s =$$

$$= 0 \text{ kNm}$$

Bod 1

$$N_{Rd,1} = -(b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} + F_{s2}) =$$

$$= -(0,8 \cdot 800 \cdot 745 \cdot 1 \cdot 20 + 2199,05 \cdot 435) = -10492,59 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,1} = b \cdot \lambda \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda \cdot d) + F_{s2} \cdot z_2$$

$$= 0,8 \cdot 800 \cdot 745 \cdot 1 \cdot 20 \cdot \left(\frac{800}{2} - 0,4 \cdot 745\right) + 2199,05 \cdot 345 \cdot 435 = 1302,69 \text{ kNm}$$

Bod 2

$$\xi_{bal,1} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 435} = 0,617$$

$$x_{bal,1} = \xi_{bal,1} \cdot d = 0,617 \cdot 745 = 459,47 \text{ mm}$$

$$\frac{\varepsilon_{cd}}{x_{bal,1}} = \frac{\varepsilon_{s2}}{x_{bal,1} - d_2}$$

$$\varepsilon_{s2} = \varepsilon_{cd} \cdot \left(1 - \frac{d_2}{x_{bal,1}}\right) = 0,0035 \cdot \left(1 - \frac{55}{459,47}\right) = 0,00308$$

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{435}{200000} = 0,00218$$

$$\varepsilon_{s2} > \varepsilon_{yd} \quad \dots \text{lze uvažovat } \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$N_{Rd,2} = -(b \cdot \lambda \cdot x_{bal,1} \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} - A_{s1} \cdot f_{yd}) =$$

$$= -(0,8 \cdot 800 \cdot 459,47 \cdot 1 \cdot 20 + 0) = -5881,23 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,2} = b \cdot \lambda \cdot x_{bal,1} \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot \left(\frac{h}{2} - 0,4 \cdot x_{bal,1}\right) + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot z_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} =$$

$$= 0,8 \cdot 800 \cdot 459,47 \cdot 1 \cdot 20 \cdot \left(\frac{800}{2} - 0,4 \cdot 459,47\right) + 2199,05 \cdot 435 \cdot 345 +$$

$$+ 2199,05 \cdot 435 \cdot 345 = 1931,63 \text{ kNm}$$

Bod 3

Kvadratická rovnice pro σ_{s2} :

$$\sigma_{s2}^2 \cdot A_{s2} - \sigma_{s2} \cdot (A_{s1} \cdot f_{yd} + A_{s2} \cdot \varepsilon_{cd} \cdot E_s) + \varepsilon_{cd} \cdot E_s \cdot (A_{s1} \cdot f_{yd} - \lambda \cdot b \cdot f_{cd} \cdot d_2) = 0$$

$$\sigma_{s2}^2 \cdot 2199,05 - \sigma_{s2} \cdot (2199,05 \cdot 435 + 2199,05 \cdot 0,0035 \cdot 200000) + 0,0035 \cdot 200000 \cdot (2199,05 \cdot 435 - 0,8 \cdot 800 \cdot 20 \cdot 55) = 0$$

$$\sigma_{s2}^2 \cdot 2199,05 - \sigma_{s2} \cdot 2495921,785 + 176810725 = 0$$

Kořeny kvadratické rovnice:

$$\sigma_{s2}^1 = 1059,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s2}^2 = 75,92 \text{ MPa}$$

Jelikož použitá betonářská ocel má charakteristickou mez kluzu 500 MPa, první kořen nemá fyzikální smysl. Pro další výpočty se použije druhý kořen $\sigma_{s2}^2 = 75,92 \text{ MPa}$.

$$x = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd} - A_{s2} \cdot \sigma_{s2}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{2199,05 \cdot 435 - 2199,05 \cdot 75,92}{0,8 \cdot 800 \cdot 20} = 61,69 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 745 - 0,4 \cdot 61,69 = 720,32 \text{ mm}$$

$$r_{s2} = 0,4 \cdot x - d_2 = 0,4 \cdot 61,69 - 55 = -30,32 \text{ mm}$$

Rameno síly vychází záporné, jelikož v tomto případě je působiště síly v tlačené výztuži pod těžištěm tlačeného betonu.

$$N_{Rd,3} = 0$$

$$M_{Rd,3} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z + A_{s2} \cdot f_{yd} \cdot r_{s2} = 2199,05 \cdot 435 \cdot 720,32 + 2199,05 \cdot 435 \cdot (-30,32) = 660,04 \text{ kNm}$$

Bod 4

$$N_{Rd,4} = A_{s1} \cdot f_{yd} = 2199,05 \cdot 435 = 956,59 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,4} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_{s1} = 2199,05 \cdot 435 \cdot 345 = 330,02 \text{ kNm}$$

Bod 5

$$N_{Rd,5} = (A_{s1} + A_{s2}) \cdot f_{yd} = (2199,05 + 2199,05) \cdot 435 = 1913,17 \text{ kN}$$

$$M_{Rd,5} = 0$$

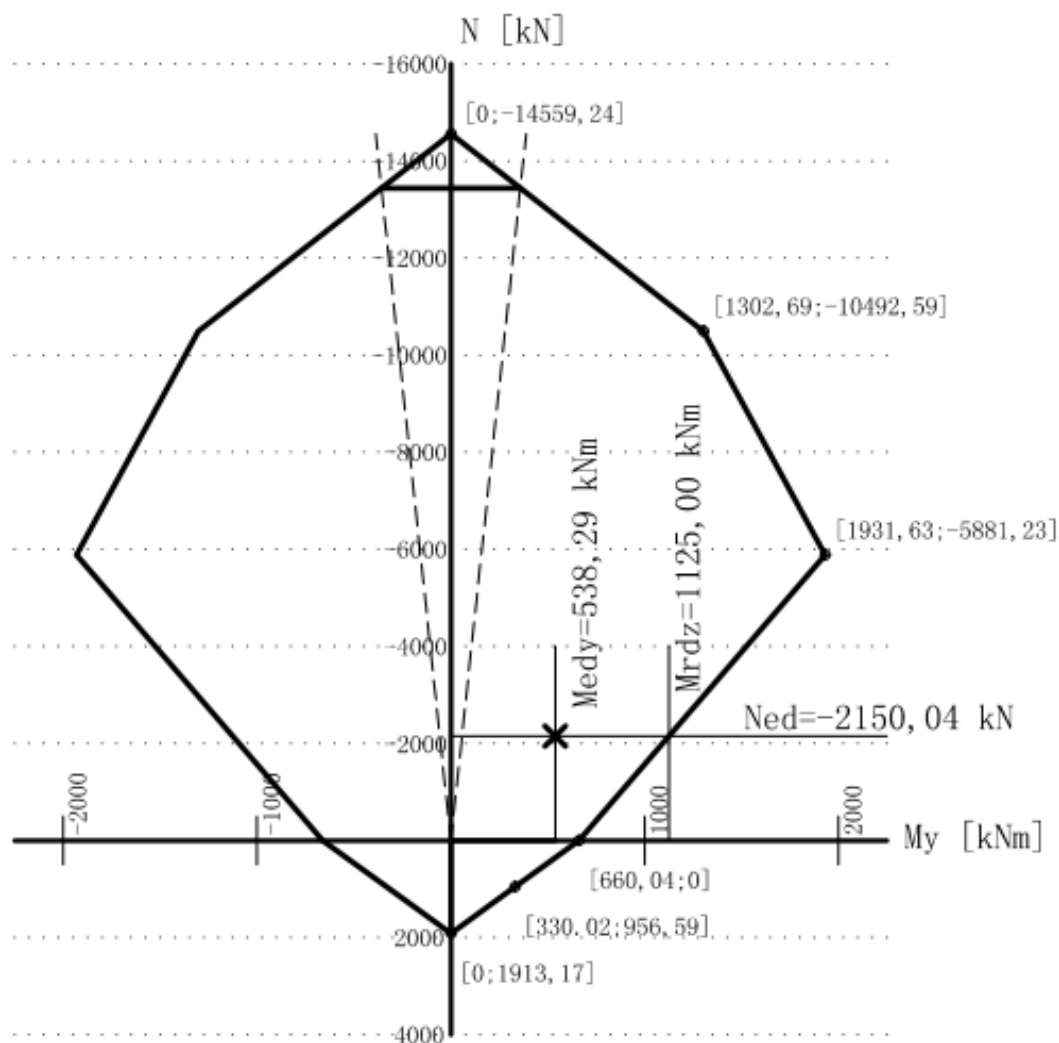
Omezení tlakové únosnosti

Minimální výstřednost

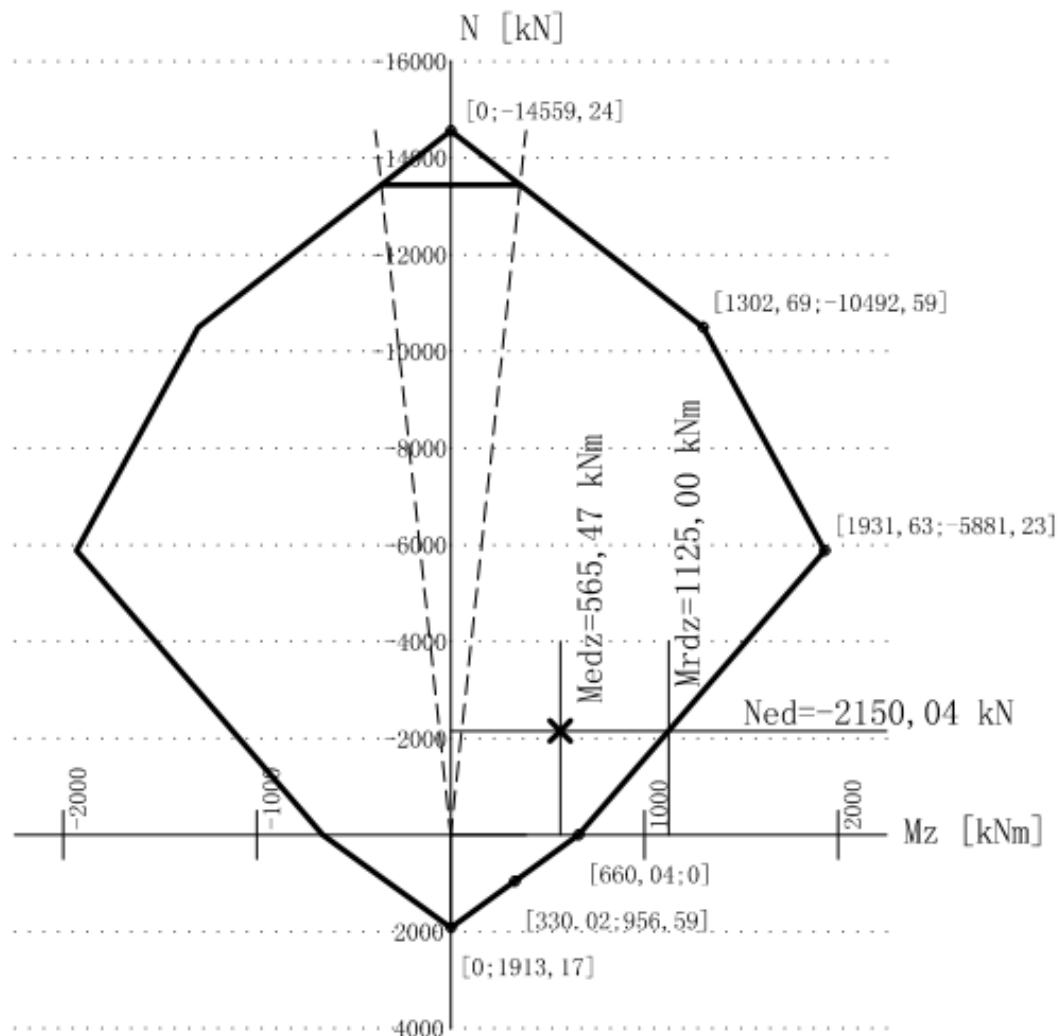
$$e_0 = \max\left(\frac{h}{30}; 20\right) = \max\left(\frac{800}{30}; 20\right) = \max(26, \bar{6}; 20) = 26, \bar{6} \text{ mm}$$

Minimální ohybový moment

$$M_0 = N_{Rd,0} \cdot e_0 = 14559,24 \cdot 26, \bar{6} = 388,25 \text{ kNm}$$



Obr. 21 Svislý řez interakčním diagramem (osa y) – zjednodušený výpočet



Obr. 22 Svislý řez interakčním diagramem (osa z) - zjednodušený výpočet

Posouzení

$$\left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^a + \left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^a \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd0}} = \frac{2150,04}{14559,24} = 0,148 \rightarrow \text{interpolací } a = 1,04$$

$$\left(\frac{538,29}{1125,0}\right)^{1,04} + \left(\frac{565,47}{1125,0}\right)^{1,04} \leq 1$$

$$0,954 \leq 1$$

Průřez na interpolaci normálové síly a ohybových momentů ve dvou rovinách vyhovuje.

7.2 Posouzení sloupu C2 – výztuž uvažována prostorově

PŘEDPOKLADY

idealizovaný pracovní diagram **betonu**:

Obdélníkový

idealizovaný pracovní diagram **výztuže**:

Vodorovný s neomezeným přetvořením

BETON

třída C30/37

 f_{ck} [MPa] 30 f_{ctm} [MPa] 2,9 γ_c [-] 1,5 f_{cd} [MPa] 20 $\epsilon_{c,1}$ [‰] -2,0 $\epsilon_{c,u}$ [‰] -3,5

max zrno [mm] 22

VÝZTUŽ

typ R 10 505

 f_{yk} [MPa] 500 γ_s [-] 1,15 f_{yd} [MPa] 434,78 E [MPa] 200000

PRŮŘEZ

 H [mm] 800 B [mm] 800

horní krytí [mm] 35

spodní krytí [mm] 35

 ϕ třmínku [mm] 10

mezera horní [mm] 50

mezera dolní [mm] 50

 $\geq 30 \text{ mm} = \text{min. mezera}$

vyhovuje

 $\geq 30 \text{ mm} = \text{min. mezera}$

vyhovuje

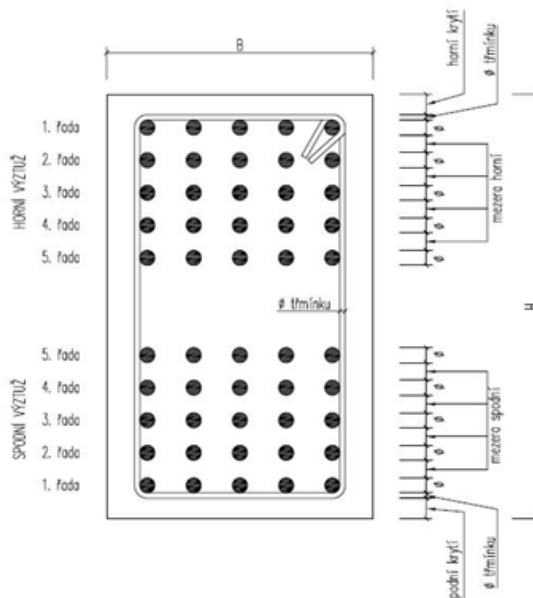
NAMÁHÁNÍ

 $N_{x,Ed}$ [kN] -2150

tlaková síla se znaménkem minus

 $M_{y,Ed}$ [kNm] 538,29

kladný moment táhne spodní vlákna



VYZTUŽENÍ PRŮŘEZU

		ϕ [mm]	počet prutů	d [mm]	A_s [mm ²]	ϵ_s [‰]	σ_s [Mpa]	F_s [N]
HORNÍ VÝZTUŽ	1. řada	20	7	55	2199,115	-2,604651	-434,7826	-956136,9
	2. řada	20	2	125	628,3185	-1,465116	-293,0233	-184111,9
	3. řada	20	2	195	628,3185	-0,325581	-65,11628	-40913,76
	4. řada	20	2	400	628,3185	3,0116279	434,7826	273181,97
	5. řada	20	0	0	0	0	0	0
SPODNÍ VÝZTUŽ	5. řada	8	0	0	0	0	0	0
	4. řada	16	0	0	0	0	0	0
	3. řada	20	2	605	628,3185	6,3488372	434,7826	273181,97
	2. řada	20	2	675	628,3185	7,4883721	434,7826	273181,97
	1. řada	20	7	745	2199,115	8,627907	434,7826	956136,89

KONTROLA STUPNĚ VYZTUŽENÍ

tahová [mm²] 3455,8 > 735,1 = $A_{s,min1} = 0,0013 \cdot b_t \cdot d$
 > 852,7 = $A_{s,min2} = 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}$

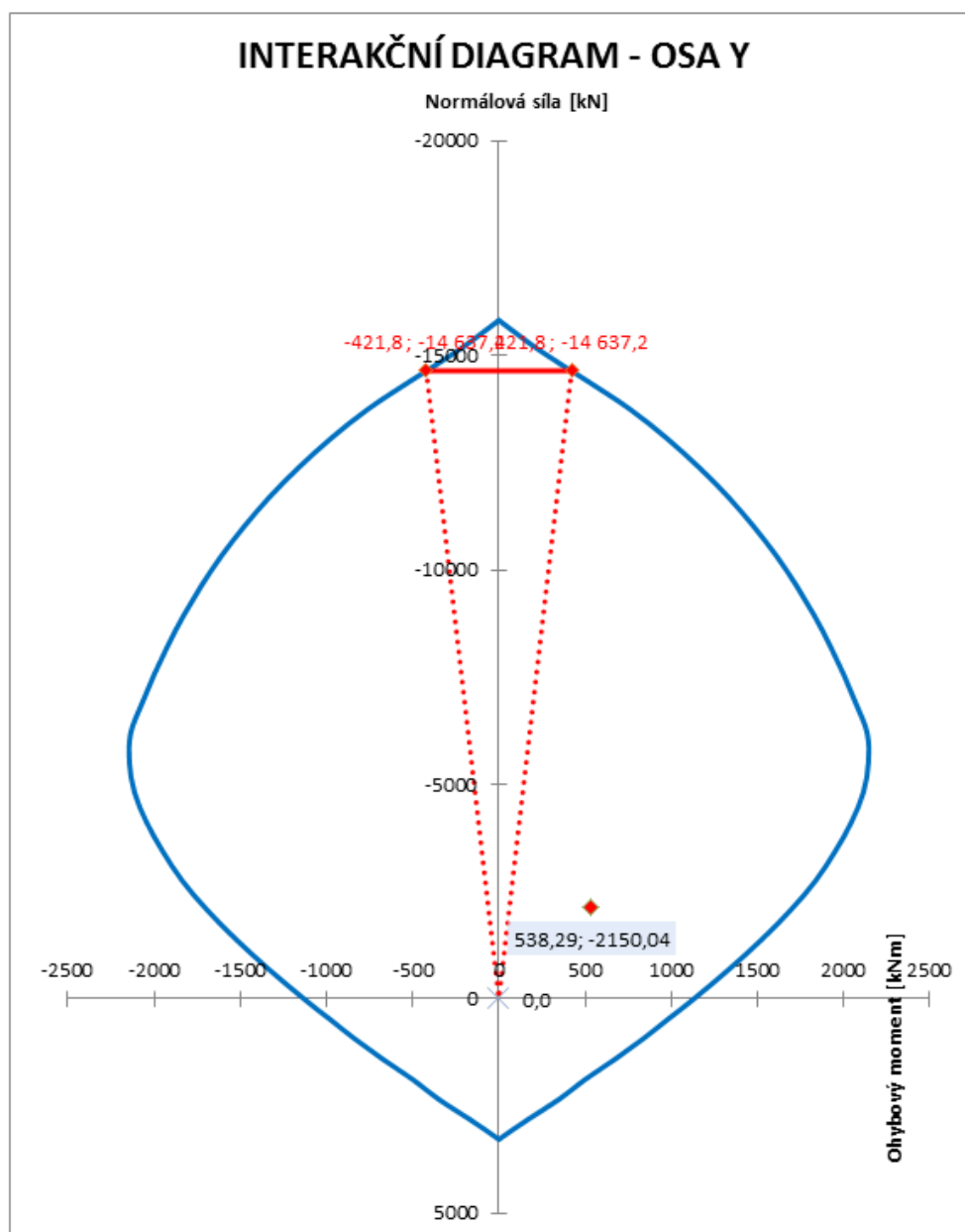
vyhovuje

veškerá [mm²] 7539,8 < 25600,0 = $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h$

vyhovuje

VÝPOČET

 $x^+ = 215,0 \text{ mm}$ $x^- = 215,0 \text{ mm}$ $M_{Rd}^+ = 1714,0079 \text{ kNm}$ $M_{Rd}^- = -1714,008 \text{ kNm}$



Obr. 23 Svislý řez interakčním diagramem (osa y)

POSOUZENÍ

OHYBOVÁ ÚNOSNOST:

$M_{Ed} = 538,29 \text{ kNm}$
 \leq
 $1714,01 \text{ kNm} = M_{Rd}$
vyhovuje

využití: 31,41 %

PŘEDPOKLADY

idealizovaný pracovní diagram **betonu**:

Obdélníkový

idealizovaný pracovní diagram **výztuže**:

Vodorovný s neomezeným přetvořením

BETON

třída C30/37

 f_{ck} [MPa] 30 f_{ctm} [MPa] 2,9 γ_c [-] 1,5 f_{od} [MPa] 20 $\varepsilon_{c,1}$ [‰] -2,0 $\varepsilon_{c,u}$ [‰] -3,5

max zrno [mm] 22

VÝZTUŽ

typ R 10 505

 f_{yk} [MPa] 500 γ_s [-] 1,15 f_{yd} [MPa] 434,78

E [MPa] 200000

PRŮŘEZ

H [mm] 800

B [mm] 800

horní krytí [mm] 35

spodní krytí [mm] 35

 ϕ třmínku [mm] 10mezera horní [mm] 50 \geq 30 mm = min. mezeramezera dolní [mm] 50 \geq 30 mm = min. mezera

vyhovuje

vyhovuje

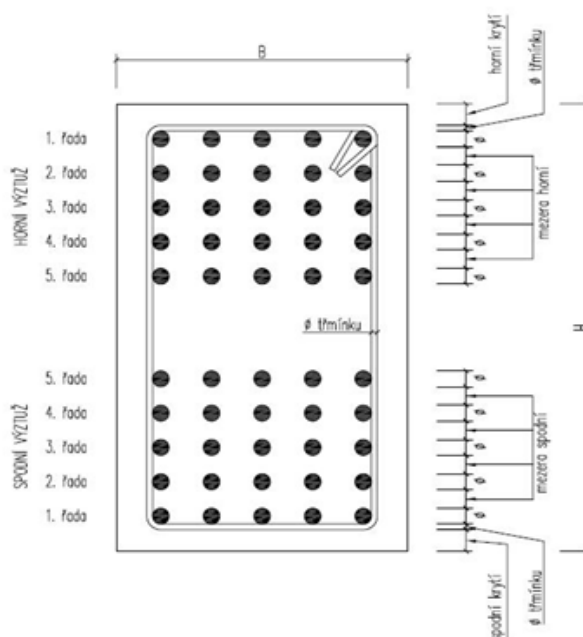
NAMÁHÁNÍ

 $N_{x,Ed}$ [kN] -2150

tlaková síla se znaménkem mínus

 $M_{z,Ed}$ [kNm] 565,47

kladný moment táhne spodní vlákna



VYZTUŽENÍ PRŮŘEZU

		ϕ [mm]	počet prutů	d [mm]	A_s [mm ²]	ε_s [‰]	σ_s [MPa]	F_s [N]
HORNÍ VÝZTUŽ	1. řada	<input checked="" type="checkbox"/> 20	<input type="text" value="7"/>	55	2199,115	-2,604651	-434,7826	-956136,9
	2. řada	<input checked="" type="checkbox"/> 20	<input type="text" value="2"/>	125	628,3185	-1,465116	-293,0233	-184111,9
	3. řada	<input checked="" type="checkbox"/> 20	<input type="text" value="2"/>	195	628,3185	-0,325581	-65,11628	-40913,76
	4. řada	<input checked="" type="checkbox"/> 20	<input type="text" value="2"/>	400	628,3185	3,0116279	434,7826	273181,97
	5. řada	<input type="checkbox"/> 20	<input type="text" value="0"/>	0	0	0	0	0
SPODNÍ VÝZTUŽ	5. řada	<input type="checkbox"/> 8	<input type="text" value="0"/>	0	0	0	0	0
	4. řada	<input type="checkbox"/> 16	<input type="text" value="0"/>	0	0	0	0	0
	3. řada	<input checked="" type="checkbox"/> 20	<input type="text" value="2"/>	605	628,3185	6,3488372	434,7826	273181,97
	2. řada	<input checked="" type="checkbox"/> 20	<input type="text" value="2"/>	675	628,3185	7,4883721	434,7826	273181,97
	1. řada	<input checked="" type="checkbox"/> 20	<input type="text" value="7"/>	745	2199,115	8,627907	434,7826	956136,89

KONTROLA STUPNĚ VYZTUŽENÍ

tahová [mm²] 3455,8 > 735,1 = $A_{s,min1} = 0,0013 \cdot b_t \cdot d$
 > 852,7 = $A_{s,min2} = 0,26 \cdot f_{ctm} \cdot b_t \cdot d / f_{yk}$

vyhovuje

veškerá [mm²] 7539,8 < 25600,0 = $A_{s,max} = 0,04 \cdot b \cdot h$

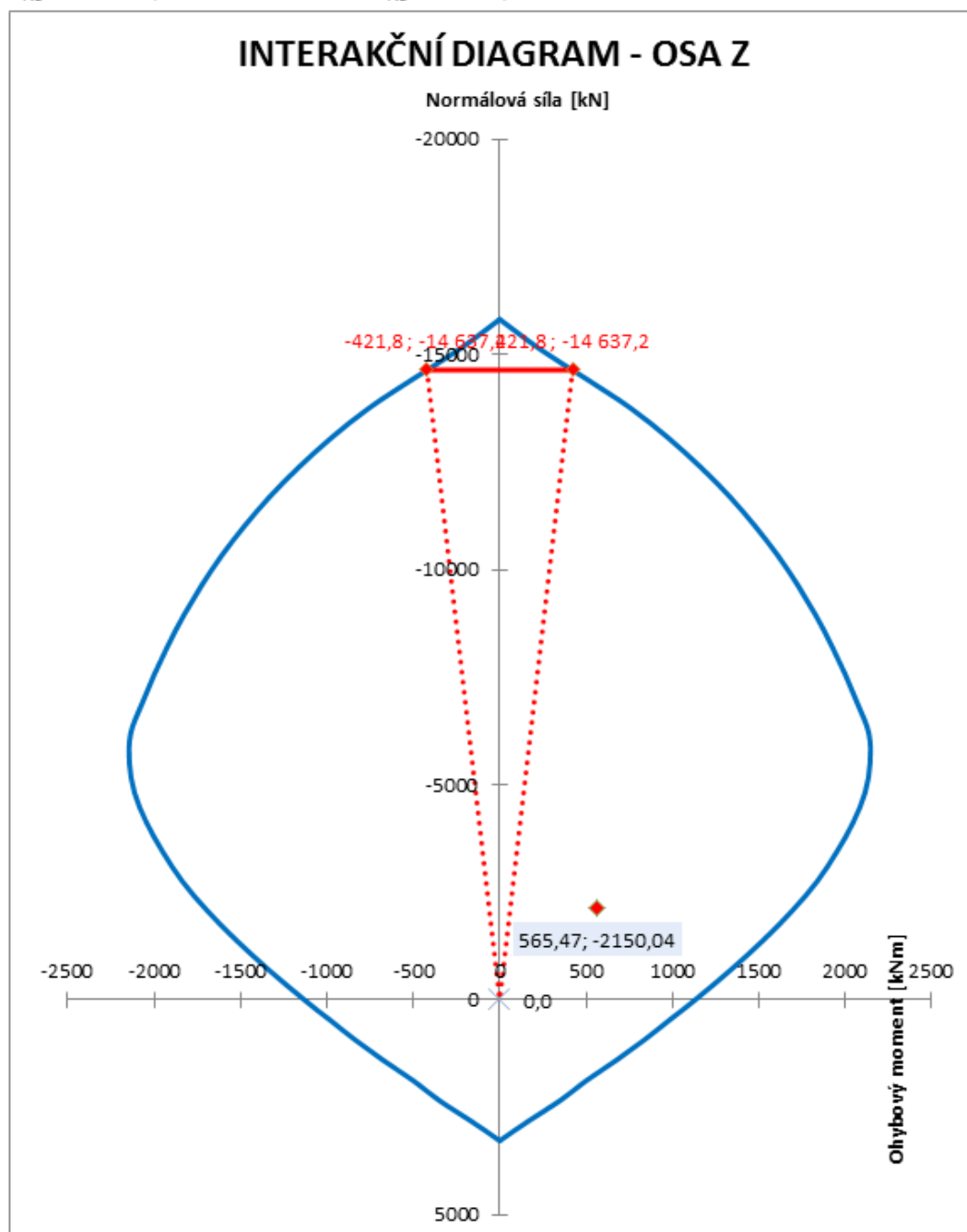
vyhovuje

VÝPOČET

 $x^+ = 215,0$ mm $x^- = 215,0$ mm $M_{Rd}^+ = 1714,0079$ kNm $M_{Rd}^- = -1714,008$ kNm

$$M_{Rd}^+ = 1714,0079 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd}^- = -1714,008 \text{ kNm}$$



Obr. 24 Svislý řez interakčním diagramem (osa z)

POSOUZENÍ

OHYBOVÁ ÚNOSNOST:

$$M_{Ed} = 565,47 \text{ kNm} \leq 1714,01 \text{ kNm} = M_{Rd} \quad \text{vyhovuje}$$

využití: 32,99 %

Posouzení

$$\left(\frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}}\right)^a + \left(\frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}}\right)^a \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd0}} = \frac{2150,04}{14637,24} = 0,147 \rightarrow \text{interpolací } a = 1,04$$

$$\left(\frac{538,29}{1714,0}\right)^{1,04} + \left(\frac{565,47}{1714,0}\right)^{1,04} \leq 1$$

$$0,62 \leq 1$$

Průřez na interpolaci normálové síly a ohybových momentů ve dvou rovinách vyhovuje.

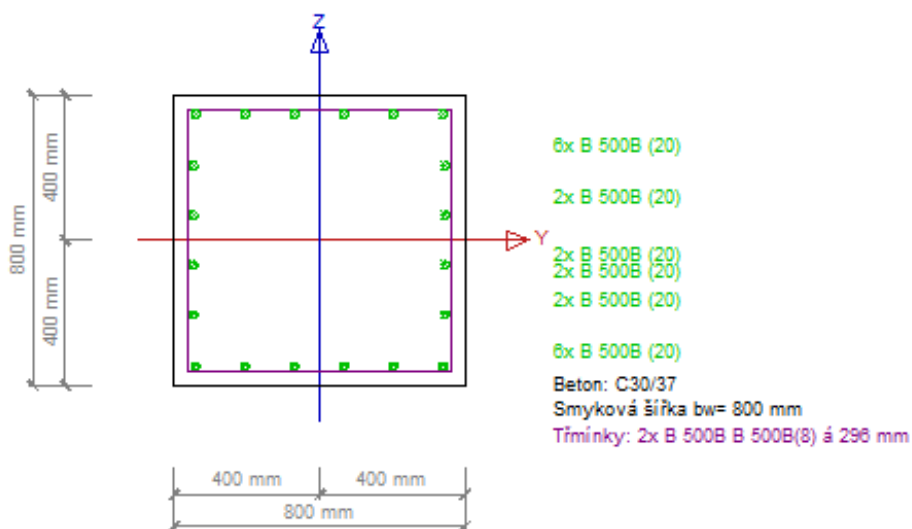
7.3 Posouzení průřezu sloupu C2 s využitím softwaru

Vnitřní síly v extrémním řezu

$$N = -1930,81 \text{ kN}$$

$$M_y = 489,18 \text{ kNm}$$

$$M_z = 608,63 \text{ kNm}$$



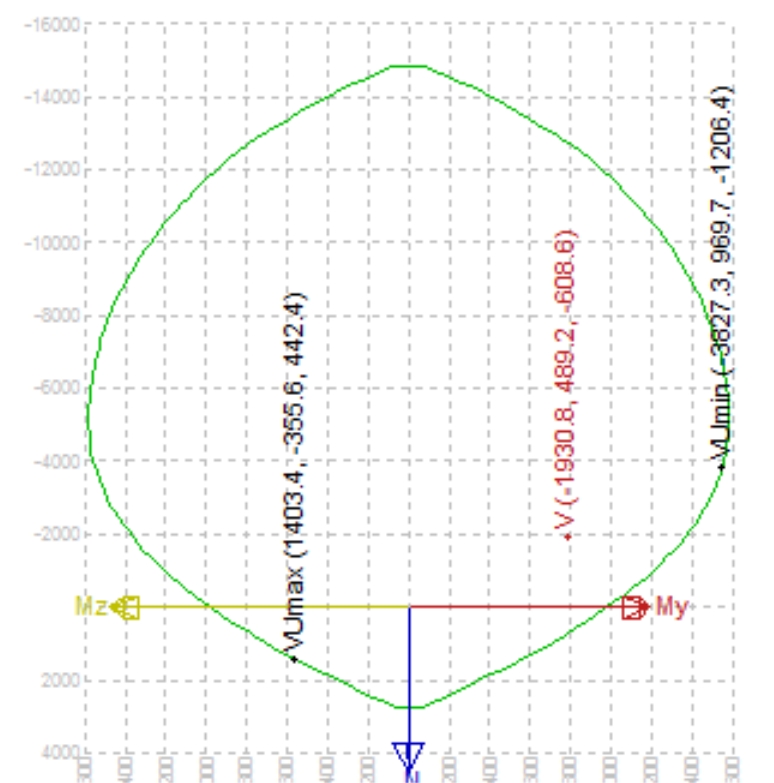
Obr. 25 Průřez s rozmístěním výztuže

Jedná se o předběžné rozmístění výztuže. Ta bude upravena s ohledem na vybočení podélné tlačené výztuže příčnou výztuží.

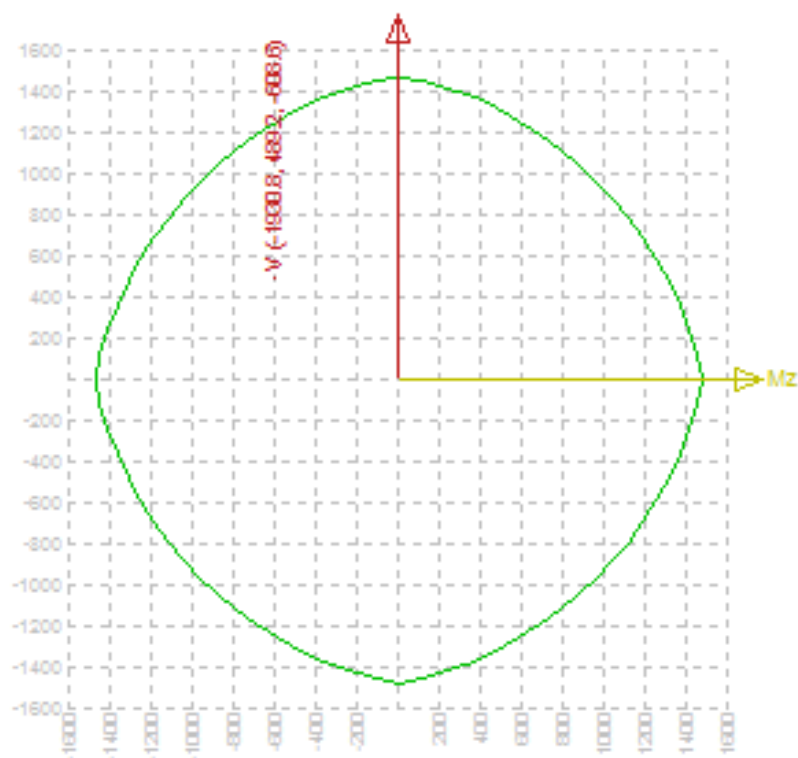
Posouzení

$N_{u,min} = -3827.2620 \text{ kN}$	$< N_d = -1930.8089 \text{ kN}$	$< N_{u,max} = 1403.3708 \text{ kN}$
$M_{y,min} = 969.6561 \text{ kNm}$	$> M_{y,d} = 489.1802 \text{ kNm}$	$> M_{y,u,max} = -355.5511 \text{ kNm}$
$M_{z,min} = -1206.4288 \text{ kNm}$	$< M_{z,d} = -608.6292 \text{ kNm}$	$< M_{z,u,max} = 442.3703 \text{ kNm}$

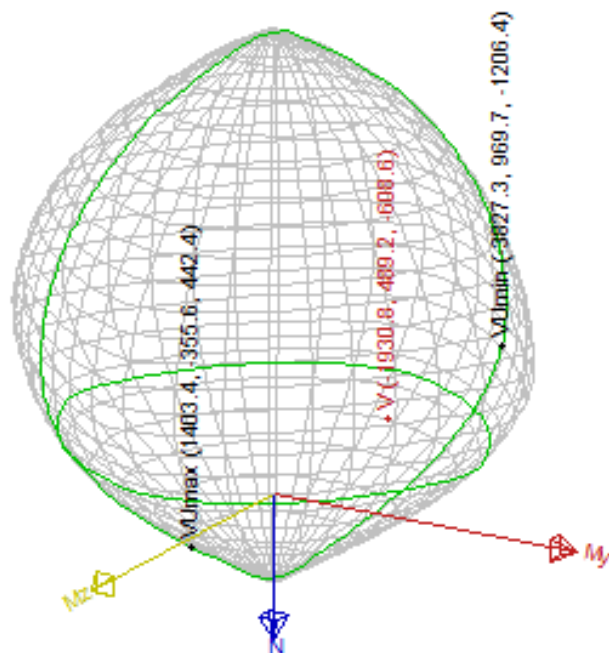
Byla překročena limitní štíhlost. (113)
 $V_z = 10.9458 \text{ kN}$ $> V_{z,u} = 0.0000 \text{ kN}$
 Vzdálenost třmínků splňuje konstrukční zásady pro sloupy. (193)
 Průřez vyhovuje. (161)



Obr. 26 Svislý řez interakčním diagramem dle Scia Engineer



Obr. 27 Vodorovný řez interakčním diagramem dle Scia Engineer



Obr. 28 Prostorový interakčním diagramem dle Scia Engineer

7.4 Vyhodnocení

Výsledky ručním výpočtem a dle softwaru se liší. Plocha výztuže vypočtená softwarem je nižší. Mezivýpočty a výpočty dle softwaru nejsou kontrolovatelné. Navržená výztuž sloupu dle jednotlivých postupů vyhovuje, ale rozhodl jsem se pro bezpečnější variantu ručním výpočtem.

7.5 Návrh úchytů pro manipulaci

Návrh úchytů pro manipulaci se sloupem je spočten dle ČSN 731201 (zbytková norma) - Navrhování betonových konstrukcí pozemních staveb.

Manipulační síla

- 1) V okamžiku uvolňování dílce z formy nebo podložky

$$N_{EdA} = 1,3 \cdot \frac{\gamma_G}{n \cdot \cos \alpha} (F_k + F_{adh,k}) = 1,3 \cdot \frac{1,35}{2 \cdot \cos 30^\circ} \cdot (324,96 + 32,50) = 362,20 \text{ kN}$$

- 2) Při dalších manipulacích

$$N_{EdB} = 1,8 \cdot \frac{\gamma_{man} \cdot \gamma_G}{n \cdot \cos \alpha} F_k = 1,8 \cdot \frac{1,0 \cdot 1,35}{2 \cdot \cos 30^\circ} \cdot 324,96 = 455,91 \text{ kN}$$

γ_G – součinitel zatížení vlastní tíhou dílce

γ_{man} – součinitel podmínek působení dílce (opakované používání $\gamma_{man} = 1,3$)

$F_{adh,k}$ – charakteristická hodnota přilnavosti dílce k podložce

($v_{adh,k} = 2,0 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$)

n – počet uvažovaných úchytů

α – úhel sevřený směrem manipulační síly a směrem F_k

Návrhová hodnota tahové síly v úchytném oku

$$N_{Ed1} = 0,6 \cdot \frac{N_{Ed}}{\cos(0,5\beta + 30^\circ)} = 0,6 \cdot \frac{455,91}{\cos(30^\circ)} = 315,86 \text{ kN}$$

Uvažuji β – úhel sevřený větvemi úchytného oka

$$\beta = 0^\circ$$

Podmínka spolehlivosti

$$N_{Ed1} < \kappa \cdot A_s \cdot f_{yd}$$

$$\kappa = 0,05d_s + 0,3 \leq 1 \text{ (od profilu } \emptyset 14 \text{ mm lze uvažovat } \kappa = 1)$$

f_{yd} – návrhová mez kluzu oceli

Výběr oceli

Značení dle ČSN - 11 373 –nelegovaná ocel obvyklých jakostí pro konstrukce

Značení dle EN nebo EN ISO - S235JRG1

$$f_{yk} = 250 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1,15} = \frac{250}{1,15} = 217,39 \text{ MPa}$$

$$A_s = \frac{N_{Ed1}}{f_{yd}} = \frac{315,86 \cdot 10^3}{217,39} = 1452,96 \text{ mm}^2$$

→ nereálný profil ocelového úchytu, návrh Halfen Deha KKT 45,0

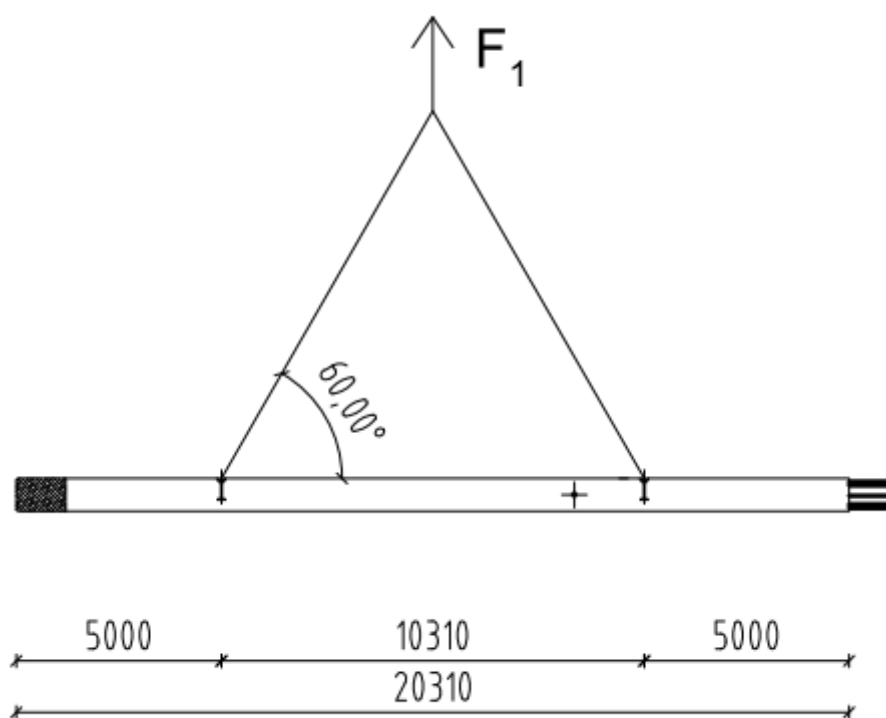
7.6 Manipulace s dílcem

- Vyjímání dílce z formy (výrobní stádium)
- Skladování a montáž (montážní stádium)

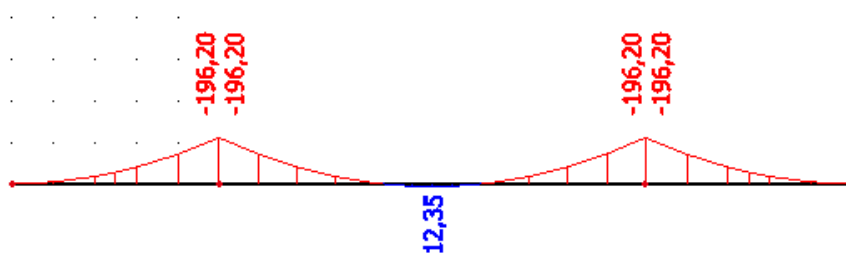
Rozhodující zatížení

$$F_1 = 1,8 \frac{\gamma_{man} \cdot \gamma_G}{\cos \alpha} F_k = 1,8 \frac{1 \cdot 1,35}{\cos 30^\circ} \cdot 324,96 = 911,81 \text{ kN}$$

Vyjímání dílce z formy (výrobní stádium)



Obr. 29 Schéma manipulace s dílcem (vyjímání dílce z formy)



Obr. 30 Ohybové momenty (vyjímání dílce z formy)

Posouzení ohybové výztuže (vyjímání dílce z formy)

Kontrola ohybové momentu při manipulaci vyjímání dílce z formy.

$$d_T = h_T - c - \frac{\phi}{2} - \phi_{T\check{R}} = 800 - 35 - \frac{20}{2} - 10 = 745 \text{ mm}$$

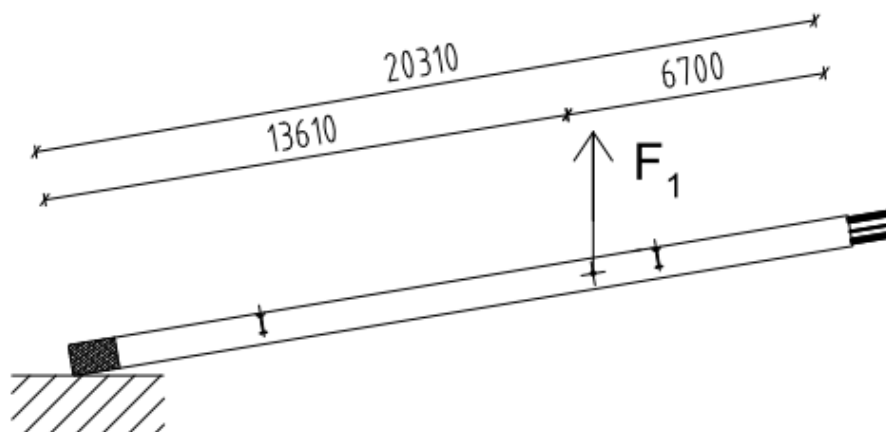
$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{2287,08 \cdot 435}{0,8 \cdot 800 \cdot 20} = 77,73 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 745 - 0,4 \cdot 77,73 = 713,91 \text{ mm}$$

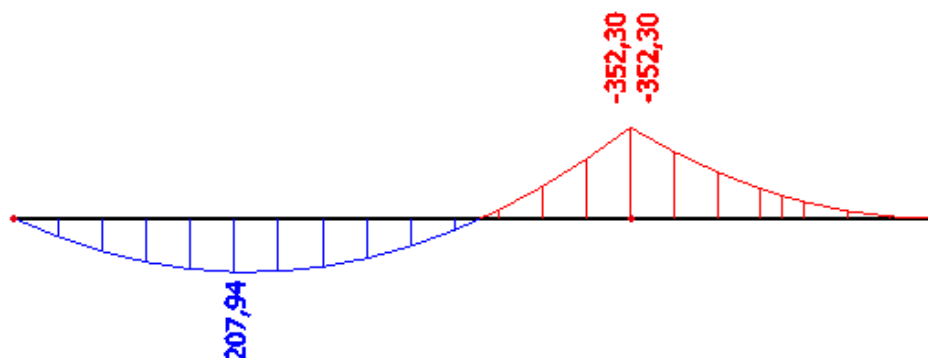
$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 2287,08 \cdot 434,78 \cdot 713,91 = 709,89 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$709,89 \text{ kNm} > 196,20 \text{ kNm} \text{ ...vyhovuje}$$

Skladování a montáž (montážní stádium)

Obr. 31 Schéma manipulace s dílcem (montáž)



Obr. 32 Ohybové momenty (montáž)

Posouzení ohybové výztuže (vyjímání dílce z formy)

Kontrola ohybové momentu při manipulaci montáže dílce na stavbě.

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{2287,08 \cdot 435}{0,8 \cdot 800 \cdot 20} = 77,73 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 745 - 0,4 \cdot 77,73 = 713,91 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 2287,08 \cdot 434,78 \cdot 713,91 = 709,89 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$709,89 \text{ kNm} > 352,3 \text{ kNm} \text{ ...vyhovuje}$$

8 Základová patka pro prefabrikovaný sloup

Pro založení prefabrikovaných sloupů jsou využity patky s kalichem. Stěny této patky se navrhnu tak, aby bylo zajištěno dostatečné spolupůsobení se sloupem.

Pro přijatelné spolupůsobení musí být splněny následující podmínky:

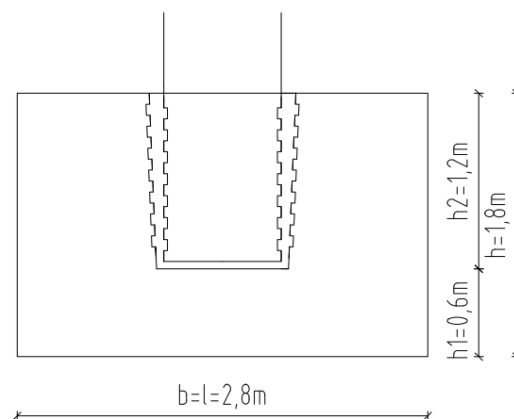
- hloubky prohlubně $l \geq 1,5(c_x, c_y)$, přičemž za minimální hloubku se považuje 500 mm ,

(c_x, c_y) – půdorysné rozměry sloupu

- dostatečné zdrsnění v podobě zazubení vnitřního líce stěn kalichu, hloubka tohoto zazubení by neměla být menší než 15 mm ,
- šířka spáry mezi prefabrikovaným sloupem a vnitřním lícem kalichu je v rozmezí $50 - 100 \text{ [mm]}$
- pevnost zálivkového betonu je min. C20/25.

Patku posuzujeme jako monolitickou a je využito modelu náhradní příhradoviny (viz Obr. 33)

Nebyl získán souhlas autora se zveřejněním obrázku. Plná verze práce je k dispozici v knihovně katedry betonových a zděných konstrukcí stavební fakulty ČVUT v Praze.



Obr. 33 Bloková patka s prohlubní – model náhradní příhradoviny [7], geometrie patky

8.1 Návrh výztuže

8.1.1 Vodorovná výztuž kalichu

Vztah pro malou excentricitu vnějších sil pro profilované stěny prohlubně:

$$T_H = \left(0,276 + 0,641 \frac{e}{c}\right) \cdot |N_{Ed}| \geq 0,4 |N_{Ed}|$$

$$\left(0,276 + 0,641 \frac{0,0917}{0,8}\right) \cdot 2150,04 = 751,39 \text{ kN} \leq 0,4 \cdot 2150,04 = 860,02 \text{ kN}$$

$$T_H = 860,02 \text{ kN}$$

T_H – vodorovná síla pro návrh vodorovné výztuže

e – excentricita vnějšího zatížení

c – šířka sloupu v posuzovaném směru

N_{Ed} – osová síla sloupu

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{197,12}{2150,04} = 0,0917$$

Jedná se o maximální hodnotu T_H z obou směrů x a y.

Návrh výztuže

$$A_{s,req} = \frac{T_H}{f_{yd}} = \frac{860,02 \cdot 10^3}{435} = 1977,05 \text{ mm}^2$$

NÁVRH	13x Ø 14 po 100 mm	$A_{s,prov} = 2000,7 \text{ mm}^2$
-------	--------------------	------------------------------------

8.1.2 Svislá výztuž kalichu

Vztah u prohlubní zapuštěných do základových bloků:

$$T_V = T_c \cdot \frac{z}{a + z} = 995,02 \cdot \frac{690}{205 + 690} = 767,11 \text{ kN}$$

T_V – svislá síla pro návrh svislé výztuže

a – vzdálenost závislá na umístění výztuže (viz Obr. 33)

z – vzdálenost závislá na umístění výztuže (viz Obr. 33)

T_c – tahová síla ve výztuži sloupu

$$a = 50 + 100 + 55 = 205 \text{ mm}$$

$$z = 800 - 55 - 55 = 690 \text{ mm}$$

$$T_c = A_s \cdot f_{yd} = 2287,4 \cdot 435 = 995,02 \text{ kN}$$

Jedná se o maximální hodnotu T_V z obou směrů x a y.

Návrh výztuže

$$A_{s,req} = \frac{T_H}{f_{yd}} = \frac{767,11 \cdot 10^3}{435} = 1763,48 \text{ mm}^2$$

NÁVRH	8x Ø 18 po 100 mm	$A_{s,prov} = 2036,0 \text{ mm}^2$
-------	-------------------	------------------------------------

8.1.3 Podélná výztuž sdružené patky pro založení dvou prefabrikovaných sloupů

Materiály:

Beton C30/37

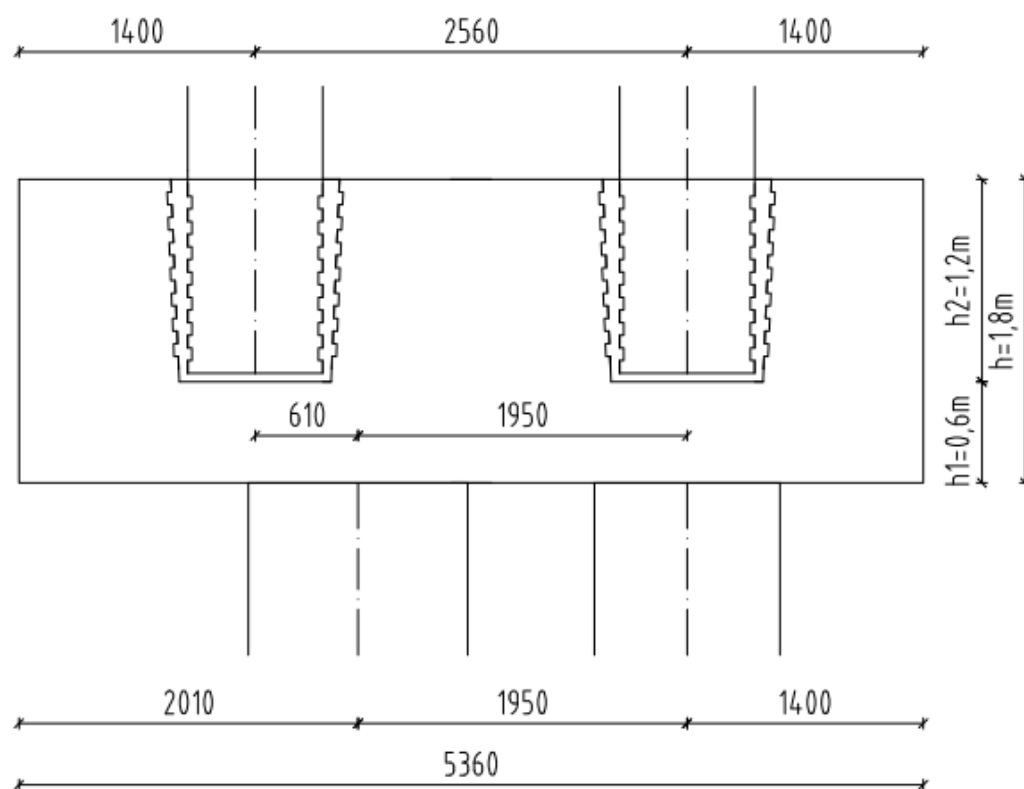
Výztuž B500B

Geometrie patky

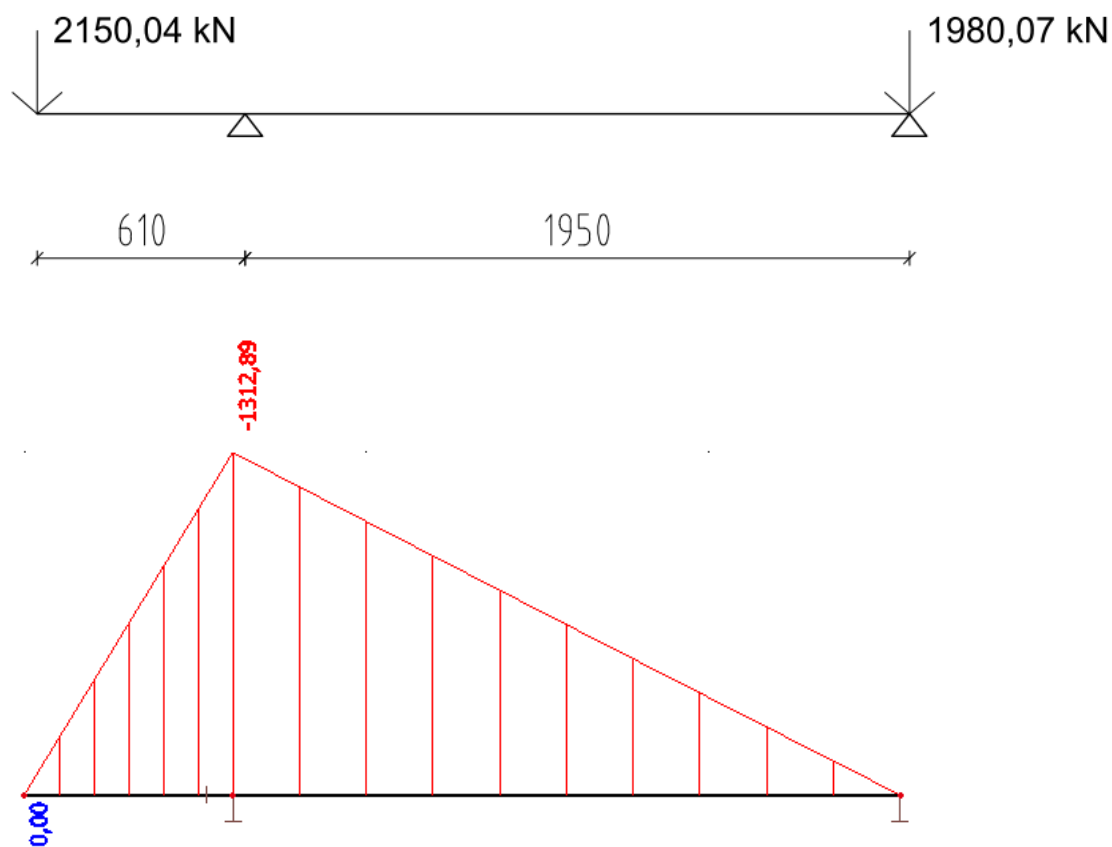
$$b = l = 5,36 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,6 \text{ m}$$

$$h = 1,8 \text{ m}$$



Obr. 34 Geometrie spojité patky



Obr. 35 Statické schéma a výsledný moment na spojitě patce

Návrh podélné výztuže

$$M_{Ed} = 1312,89 \text{ kNm (nadpodporový moment)}$$

$$d = h - c - 1,5\phi = 600 - 35 - 1,5 \cdot 28 = 523 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{1312,89 \cdot 10^6}{1000 \cdot 523^2 \cdot 20} = 0,24$$

$$\zeta = 0,861 \text{ (Tabulky)}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{1312,89 \cdot 10^6}{0,861 \cdot 523 \cdot 434,78} = 6705,85 \text{ mm}^2 A_{s,1} = \pi \left(\frac{\emptyset}{2}\right)^2 = \pi \left(\frac{28}{2}\right)^2 = 615,8 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 11x Ø28 mm ($A_{s,prov} = 6773,8 \text{ mm}^2$)

Posouzení

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{6773,8 \cdot 435}{0,8 \cdot 1000 \cdot 20} = 184,16 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 523 - 0,4 \cdot 184,16 = 449,34 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 6773,8 \cdot 434,78 \cdot 449,34$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$1323,35 \text{ kNm} > 1312,89 \text{ kNm}$$

Ověření z hlediska ohybového namáhání

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{184,16}{523} = 0,35$$

8.1.4 Výztuž na soustředěný tlak

Vztah pro působení soustředěné síly na povrch betonového prvku

$$|N_{Cd}| \leq A_c \cdot \gamma_b \cdot R_{bd}$$

$$2150,04 \leq 640000 \cdot 1,0 \cdot 20$$

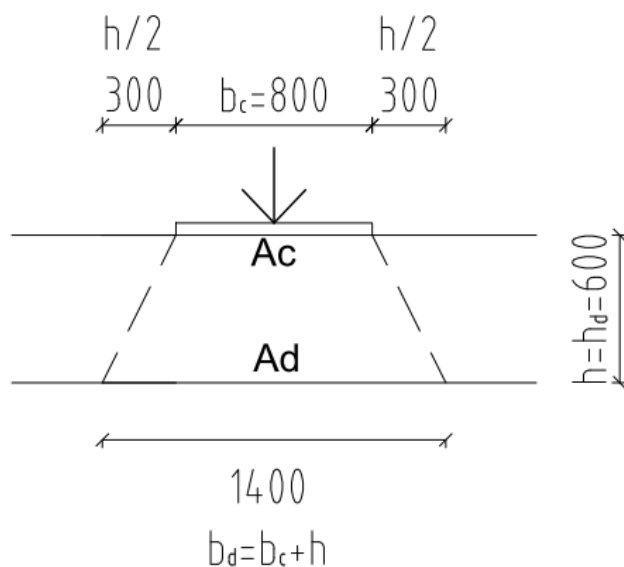
$$2150,04 \leq 12800 \text{ [kN]} \dots \text{prvek není vystaven soustředěnému tlaku}$$

N_{Cd} – soustředěná tlaková síla

A_c – velikost styčné plochy

γ_b – součinitel podmínek působení

R_{bd} – výpočtová pevnost betonu v tlaku



Obr. 36 Roznášecí oblasti

Vztah pro maximální tahové napětí betonu v roznášecí oblasti

$$\sigma_{b,max} = \frac{|N_{cd}|}{b_{d1} \cdot b_{d2}} \cdot (0,60 - 0,44\beta - 0,16\beta^4) \leq 0,4 \cdot \gamma_b \cdot R_{btd}$$

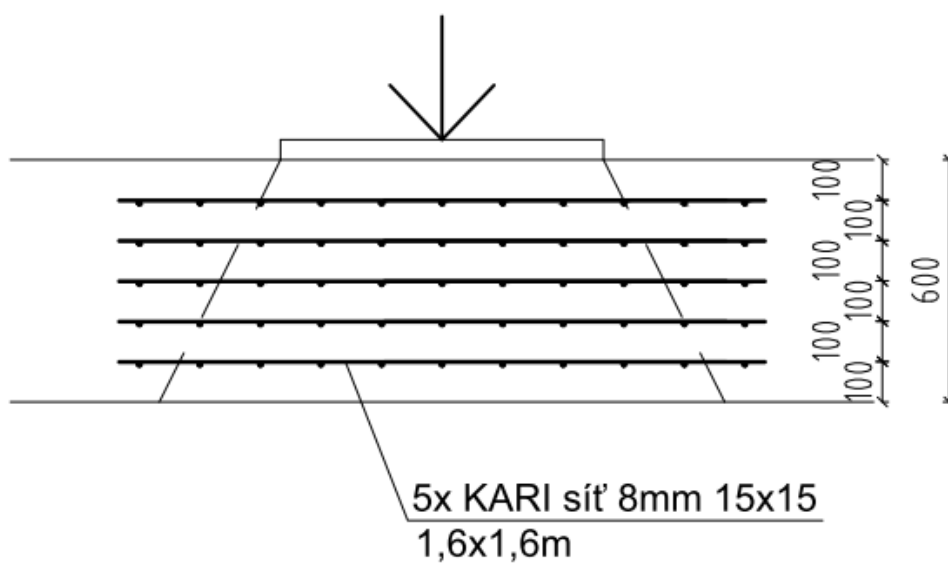
$$\frac{2150,04 \cdot 10^3}{1400 \cdot 1400} \cdot (0,60 - 0,44 \cdot 0,57 - 0,16 \cdot 0,57^4) \leq 0,4 \cdot 1,0 \cdot 2,0$$

$0,36 \leq 0,8$ [MPa] ... v roznášecí oblasti není třeba dimenzovat výztuž

$$\beta = \frac{b_{c1}}{b_{d1}} = \frac{800}{1400} = 0,57$$

Z hlediska bezpečnosti je navržena příčná výztuž v roznášecí oblasti.

NÁVRH 5x KARI síť 8mm 15x15 1,6x1,6m



Obr. 37 Rozmístění výztuže v roznášecí oblasti

8.1.5 Protlačení základové patky

Při mezním stavu protlačení základové patky je nutno posoudit stavy, kdy vzdoruje zatížení dolní deska pod prohlubní v montážním stavu a celá patka ve stavu konečném.

Ověření max. smykové odolnosti při protlačení v montážním stavu

Omezení smykové únosnosti těsně kolem sloupu

$$v_{Ed,0} = \frac{\beta \cdot V_{Ed}}{u_0 \cdot d} \leq v_{Rd,max} = 0,4 \cdot v \cdot f_{cd}$$

β – součinitel polohy sloupu

u_0 – délka kontrolovaného obvodu

d – průměrná účinná výška $d = 500 - 35 - 20 - \frac{20}{2} = 435 \text{ mm}$

V_{Ed} – svislá síla v montážním stavu, $V_{Ed} = 438,7 \text{ kN}$

$$u_0 = 2 \cdot (c_1 + c_2) = 2 \cdot (0,8 + 0,8) = 3,2 \text{ m}$$

$$\beta = 1 + k \cdot \frac{(M_{Ed} + h \cdot V_{Ed})}{V_{Ed,max}} \cdot \frac{u_0}{W_0} = 1 \quad (\text{pozn. } M_{Ed}, V_{Ed} \text{ v montážním stavu} = 0)$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

$$v_{Ed,0} = \frac{438,7}{3,2 \cdot 0,435} \leq v_{Rd,max} = 0,4 \cdot 0,528 \cdot 20$$

$$v_{Ed,0} = 315,16 \text{ kPa} \leq v_{Rd,max} = 4224 \text{ kPa} \quad \dots \text{vyhovuje}$$

Výpočet maximální smykové odolnosti pro $0,5.d < a < 2.d$

Vzorce použité v tab. X

$$v_{Rd,c}(a) = \frac{2 \cdot d}{a} \cdot C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} - \text{návrh. únosnost desky bez smyk. výztuže}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{435}} = 1,68$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s,prov}}{l \cdot d} = \frac{7126 \cdot 10^{-6}}{2,8 \cdot 0,435} = 0,0059 \quad - \text{stupeň vyztužení}$$

$$v_{l,min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \cdot 1,68^{3/2} \cdot \sqrt{30} = 0,417 \text{ MPa}$$

$$v_{l,min}(a) = \frac{2 \cdot d}{a} \cdot v_{l,min}$$

$$u_a(a) = 2 \cdot (c_1 + c_2) + 2 \cdot \pi \cdot a \quad - \text{délka kontrolovaného obvodu}$$

$$A(a) = (c_1 + 2 \cdot a) \cdot (c_1 + 2 \cdot a) + (\pi - 4) \cdot a^2 \quad - \text{plocha patky}$$

$$v_{Ed,red}(a) = \sigma_{gd} \cdot [b \cdot l - A(a)]$$

$$v_{Ed}(a) = \beta(a) \cdot \frac{v_{Ed,red}(a)}{d \cdot u_a(a)}$$

Ověření odolnosti základové patky v protlačení

a	u(a)	A(a)	V _{ed,red} (a)	v _{Ed} (a)	V _{Rd,c} (a)	v _{l,min} (a)	V _{Rd,c} (a) - v _{Ed} (a)
[m]	[m]	[m ²]	[MN]	[MPa]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,5.d	4,566	1,485	1,889	0,951	2,102	1,668	0,434
0,75.d	5,249	2,018	1,730	0,758	1,401	1,112	0,289
d	5,932	2,626	1,549	0,600	1,051	0,834	0,217
0,25.d	6,615	3,308	1,347	0,468	0,840	0,667	0,173
1,5.d	7,298	4,065	1,122	0,353	0,701	0,556	0,145
1,75.d	7,981	4,896	0,875	0,252	0,601	0,477	0,124

Tab. 14 Ověření únosnosti základové patky

Navržená patka vyhovuje protlačení → rozdíl ($v_{Rd,c}(a) - v_{Ed}(a)$) je kladný. Není potřeba přidání smykové výztuže do základové patky.

Z hlediska protlačení není nutno kontrolovat celou patku ve stavu konečném z důvodu rozměrů patky.

9 Statický výpočet desky 3.NP

V rámci diplomové práce byl vytvořen model desky a 3D prostorový model objektu v programu Scia Engineer viz kapitola 3.

9.1 Model desky

V programu byl namodelován patrový výsek 3NP. Extrémní hodnoty nadpodporových momentů byly redukovány průměrovacím polem.

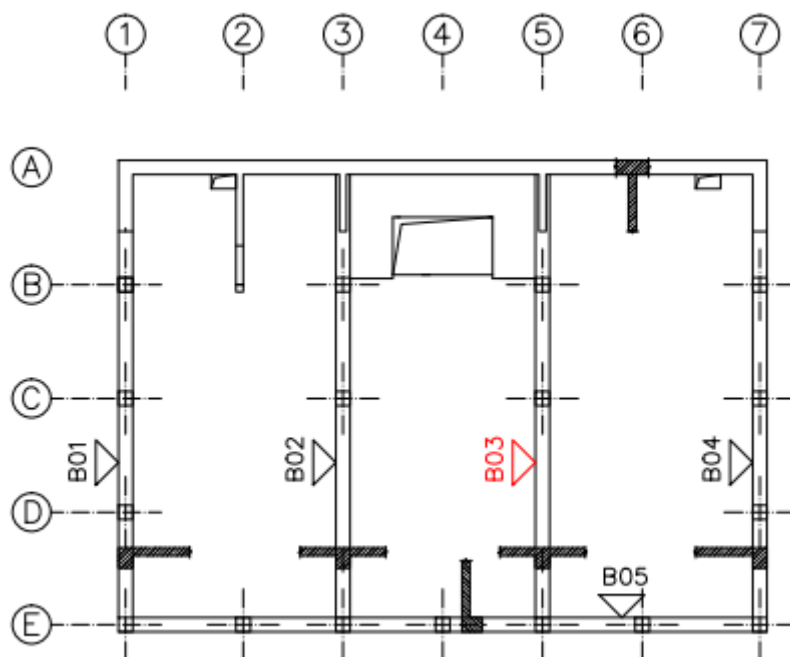
9.1.1 Kombinace zatížení

Kombinace zatížení je vyjádřena vztahem 6.10.

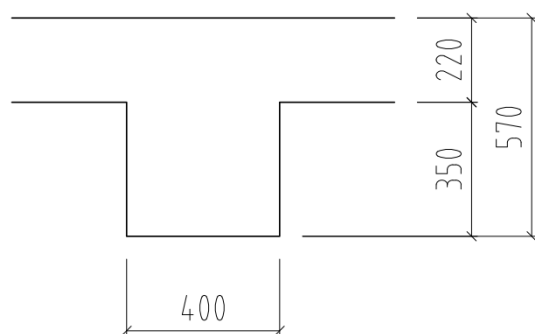
$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j}'' + \gamma_p P'' + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}'' + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

KOMBINACE ZATÍŽENÍ		
Jméno	Zatěžovací stavy	Souč. [-]
Návrhové hodnoty svislé + užité (celá plocha)	Vlastní tíha	1,35
	Podlaha	1,35
	Užité	1,50
	Obv.plášť	1,35
	Schodiště	1,35
	Schodiště užité	1,50
Návrhové hodnoty svislé + užité (šachovnice 1)	Vlastní tíha	1,35
	Podlaha	1,35
	Užité	1,50
	Obv.plášť	1,35
	Schodiště	1,35
	Schodiště užité	1,50
Návrhové hodnoty svislé + užité (šachovnice 2)	Vlastní tíha	1,35
	Podlaha	1,35
	Užité	1,50
	Obv.plášť	1,35
	Schodiště	1,35
	Schodiště užité	1,50
Charakteristické hodnoty svislé + užité (celá plocha)	Vlastní tíha	1,00
	Podlaha	1,00
	Užité	1,00
	Obv.plášť	1,00
	Schodiště	1,00
	Schodiště užité	1,00
Kvazistálé hodnoty svislé + užité (celá plocha)	Vlastní tíha	1,00
	Podlaha	1,00
	Užité	0,30
	Obv.plášť	1,00
	Schodiště	1,00
	Schodiště užité	0,30

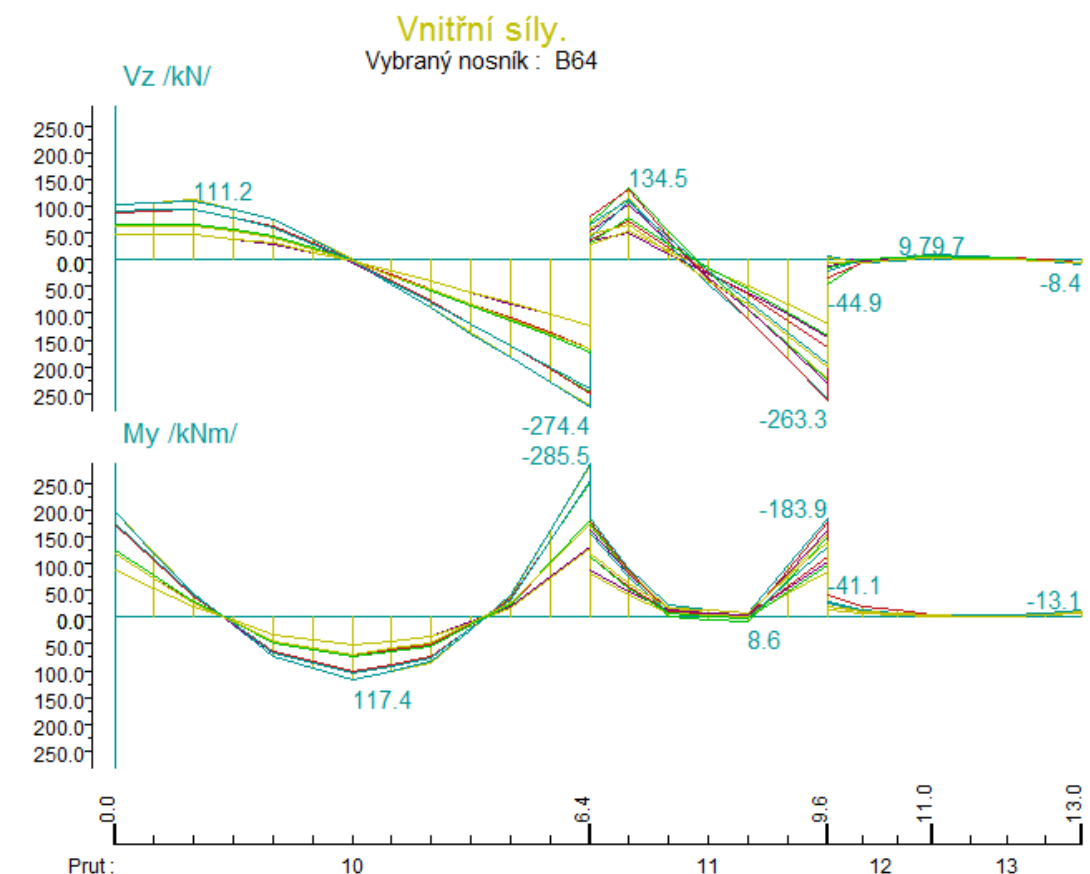
Tab. 15 Kombinace zatížení

9.1.2 ŽB trám B03

Obr. 38 Schéma desky – ŽB trám B03



Obr. 39 Schéma rozměrů ŽB trámu B03



Obr. 40 Vnitřní síly na ŽB trámu B03

Návrh ohybové výztuže

$M_{Ed} = 117,4 \text{ kNm}$ (mezipodporový moment)

$$d_T = h_T - c - \frac{\phi}{2} - \phi_{T\check{R}} = 570 - 25 - \frac{20}{2} - 10 = 525 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d_T^2 \cdot f_{cd}} = \frac{117,4 \cdot 10^6}{2398 \cdot 525^2 \cdot 20} = 0,0089$$

Spolupůsobící šířka desky

$$b_{eff} = b_{eff,i} + b_T \leq b$$

$$b_{eff,1} = 0,2b_1 + 0,1l_0$$

$$b_{eff,1} = 0,2 \cdot 3050 + 0,1 \cdot 4140 = 1024 \text{ mm}$$

$$b_{eff,2} = 0,2 \cdot 2800 + 0,1 \cdot 4140 = 974 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = 1024 + 974 + 400 = 2398 \text{ mm}$$

$$\zeta = 0,995 \text{ (Tabulky)}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{117,4 \cdot 10^6}{0,995 \cdot 525 \cdot 434,78} = 516,92 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = \pi \left(\frac{\emptyset}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{16}{2} \right)^2 = 201,1 \text{ mm}^2$$

NÁVRH 3x Ø16 mm ($A_{s,prov} = 603,3 \text{ mm}^2$)

Splnění podmínek:

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,prov} \geq A_{s,min}$$

$$A_{s,prov} \geq \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d ; 0,0013 \cdot b \cdot d\right)$$

$$A_{s,prov} \geq \max\left(0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 400 \cdot 525 ; 0,0013 \cdot 400 \cdot 525\right)$$

$$A_{s,prov} \geq \max(316,7 ; 273)$$

$$603,3 \text{ mm}^2 \geq 316,7 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

$$A_{s,prov} \leq 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 400 \cdot 570$$

$$603,3 \text{ mm}^2 \leq 9120 \text{ mm}^2$$

Maximální rozteče výztuže

$$s \leq \min(2h ; 250) = \min(2 \cdot 570 ; 250)$$

$$165 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm}$$

Návrh splňuje podmínky.

Posouzení

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{603,3 \cdot 435}{0,8 \cdot 2398 \cdot 20} = 6,84 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 525 - 0,4 \cdot 6,84 = 522,27 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 603,3 \cdot 434,78 \cdot 522,27$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$136,99 \text{ kNm} > 117,4 \text{ kNm}$$

Ověření z hlediska ohybového namáhání

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{6,84}{525} = 0,013$$

Hodnota ξ není větší než doporučených 0,35.

Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = 285,5 \text{ kNm (nadpodporový moment)}$$

$$d_T = h_T - c - \frac{\phi}{2} - \phi_{T\check{r}} = 570 - 25 - \frac{16}{2} - 8 = 529 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d_T^2 \cdot f_{cd}} = \frac{285,5 \cdot 10^6}{400 \cdot 525^2 \cdot 20} = 0,130$$

$$\zeta = 0,93 \text{ (Tabulky)}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{285,5 \cdot 10^6}{0,93 \cdot 525 \cdot 434,78} = 1344,9 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = \pi \left(\frac{\phi}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{20}{2} \right)^2 = 314,2 \text{ mm}^2$$

$$\text{NÁVRH} \quad \mathbf{5 \times \phi 20 \text{ mm } (A_{s,prov} = 1571 \text{ mm}^2)}$$

Posouzení

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1571 \cdot 435}{0,8 \cdot 400 \cdot 20} = 106,78 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 525 - 0,4 \cdot 106,78 = 482,29 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 1571 \cdot 434,78 \cdot 482,29$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$329,42 \text{ kNm} > 285,5 \text{ kNm}$$

Ověření z hlediska ohybového namáhání

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{106,78}{525} = 0,21$$

Hodnota ξ není větší než doporučených 0,35.

Maximální únosnost tlačené diagonály

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0,528 \cdot 20 \cdot 400 \cdot 482,29 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} = 940,24 \text{ kN}$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

Maximální únosnost pro smykovou výztuž

V_{Ed} – v místě d od podpory

$$V_{Rd,max} > V_{Ed}$$

940,24 kN > 205,8 kN ...vyhovuje

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{157,08 \cdot 435}{s} \cdot 482,29 \cdot 1,5 \rightarrow V_{Ed} = 205,8 \text{ kN}$$

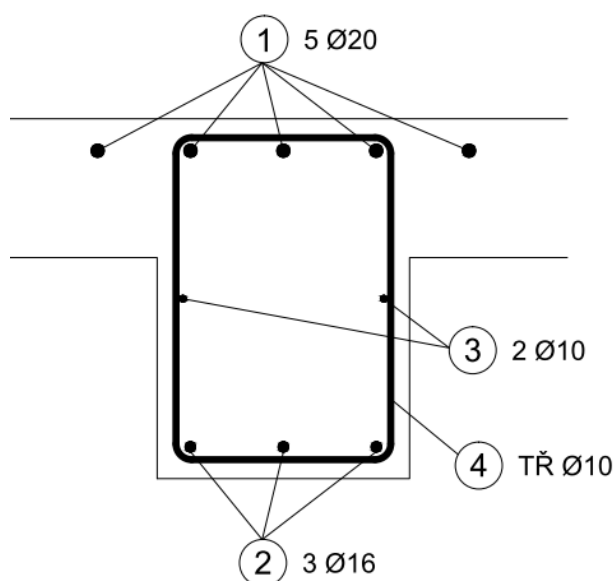
$$A_{sw} = n \cdot \left(\frac{\pi \cdot \phi_{sw}^2}{4}\right) = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 10^2}{4}\right) = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{157,08 \cdot 435}{205,8} \cdot 482,29 \cdot 1,5 = 240,1 \text{ mm}$$

NÁVRH **dvoustřížný třmínek Ø10 mm po 200 mm**

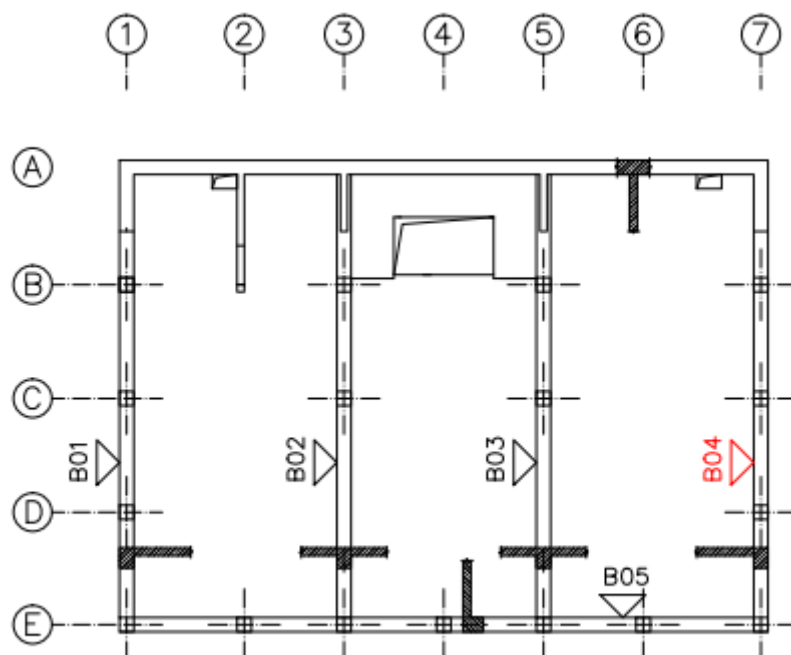
$$V_{Rd,300} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{157,08 \cdot 435}{300} \cdot 482,29 \cdot 1,5 = 164,77 \text{ kN}$$

NÁVRH **dvoustřížný třmínek Ø10 mm po 300 mm**

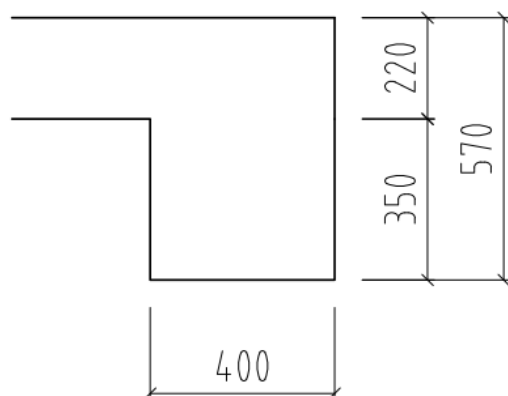


Obr. 41 Schéma vyztužení ŽB trámu B03

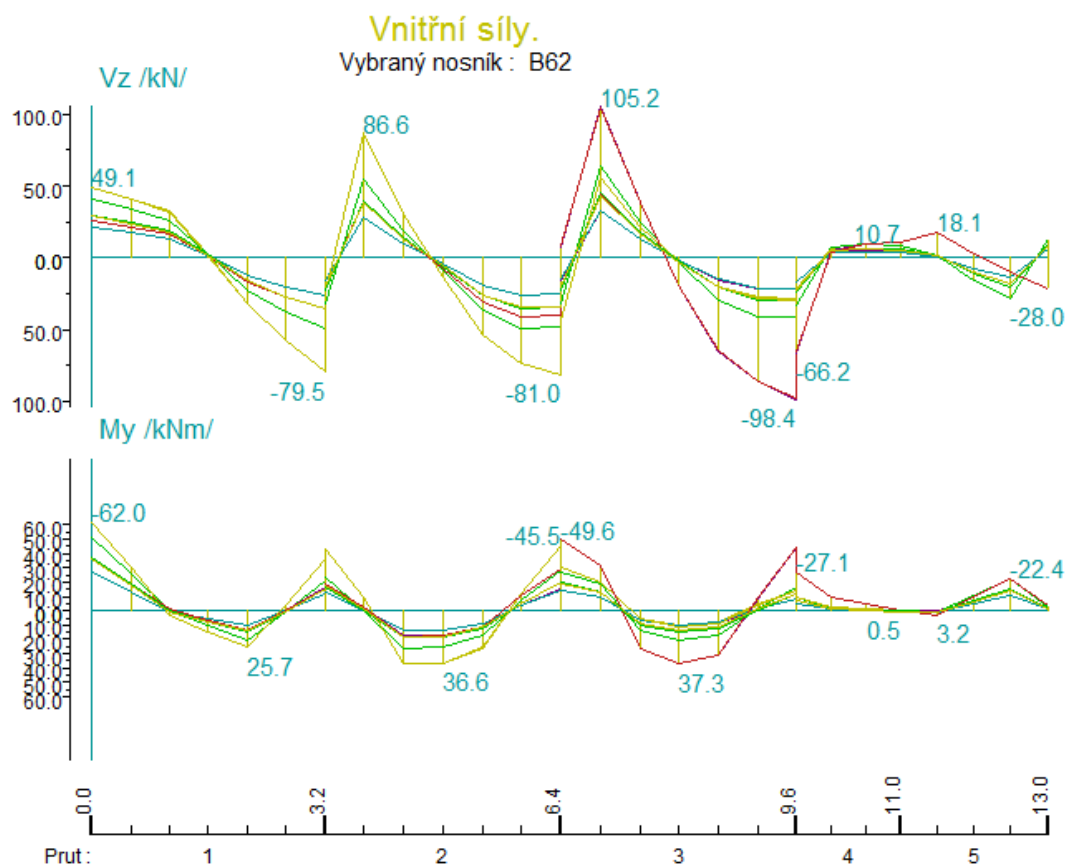
9.1.3 ŽB trám B04



Obr. 42 Schéma desky – ŽB trám B04



Obr. 43 Schéma rozměrů ŽB trámu B04



Obr. 44 Vnitřní síly na ŽB trávu B04

Návrh ohybové výztuže

$M_{Ed} = 37,3 \text{ kNm}$ (mezipodporový moment)

$$d_T = h_T - c - \frac{\phi}{2} - \phi_{T\check{R}} = 570 - 25 - \frac{12}{2} - 8 = 531 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d_T^2 \cdot f_{cd}} = \frac{37,3 \cdot 10^6}{400 \cdot 531^2 \cdot 20} = 0,0167$$

$\zeta = 0,992$ (Tabulky)

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{37,3 \cdot 10^6}{0,992 \cdot 531 \cdot 434,78} = 162,87 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = \pi \left(\frac{\emptyset}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{12}{2} \right)^2 = 113,1 \text{ mm}^2$$

NÁVRH **3x Ø12 mm ($A_{s,prov} = 339,3 \text{ mm}^2$)**

Splnění podmínek:

Minimální plocha výztuže

$$A_{s,prov} \geq A_{s,min}$$

$$A_{s,prov} \geq \max\left(0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d ; 0,0013 \cdot b \cdot d\right)$$

$$A_{s,prov} \geq \max\left(0,26 \cdot \frac{2,9}{500} \cdot 400 \cdot 531 ; 0,0013 \cdot 400 \cdot 531\right)$$

$$A_{s,prov} \geq \max(320,3 ; 276,1)$$

$$339,3 \text{ mm}^2 \geq 320,3 \text{ mm}^2$$

Maximální plocha výztuže

$$A_{s,prov} \leq A_{s,max}$$

$$A_{s,prov} \leq 0,04 \cdot b \cdot h = 0,04 \cdot 400 \cdot 570$$

$$339,3 \text{ mm}^2 \leq 9120 \text{ mm}^2$$

Maximální rozteče výztuže

$$s \leq \min(2h ; 250) = \min(2 \cdot 570 ; 250)$$

$$165 \text{ mm} \leq 250 \text{ mm}$$

Návrh splňuje podmínky.

Posouzení

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{339,3 \cdot 435}{0,8 \cdot 400 \cdot 20} = 23,06 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 531 - 0,4 \cdot 23,06 = 521,78 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 339,3 \cdot 434,78 \cdot 521,78$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$76,97 \text{ kNm} > 37,3 \text{ kNm}$$

Ověření z hlediska ohybového namáhání

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{23,06}{531} = 0,044$$

Hodnota ξ není větší než doporučených 0,35.

Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = 62,0 \text{ kNm (nadpodporový moment)}$$

$$d_T = h_T - c - \frac{\phi}{2} - \phi_{T\check{r}} = 570 - 25 - \frac{12}{2} - 8 = 531 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d_T^2 \cdot f_{cd}} = \frac{62,0 \cdot 10^6}{400 \cdot 531^2 \cdot 20} = 0,028$$

$$\zeta = 0,986 \text{ (Tabulky)}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{62 \cdot 10^6}{0,986 \cdot 531 \cdot 434,78} = 272,36 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = \pi \left(\frac{\phi}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{12}{2} \right)^2 = 113,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{NÁVRH} \quad \mathbf{3 \times \phi 12 \text{ mm} (A_{s,prov} = 339,3 \text{ mm}^2)}$$

Posouzení

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{339,3 \cdot 435}{0,8 \cdot 400 \cdot 20} = 23,06 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 531 - 0,4 \cdot 23,06 = 521,78 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 339,3 \cdot 434,78 \cdot 521,78$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$76,97 \text{ kNm} > 62,0 \text{ kNm}$$

Ověření z hlediska ohybového namáhání

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{23,06}{531} = 0,044$$

Hodnota ξ není větší než doporučených 0,35.

Maximální únosnost tlačené diagonály

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z \cdot \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta} = 0,528 \cdot 20 \cdot 400 \cdot 521,78 \cdot \frac{1,5}{1 + 1,5^2} = 822,28 \text{ kN}$$

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{30}{250}\right) = 0,528$$

Maximální únosnost pro smykovou výztuž

$$V_{Rd,max} > V_{Ed}$$

$$822,28 \text{ kN} > 105,2 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{s} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{100,53 \cdot 435}{s} \cdot 521,78 \cdot 1,5 \rightarrow V_{Ed} = 1029,6 \text{ kN}$$

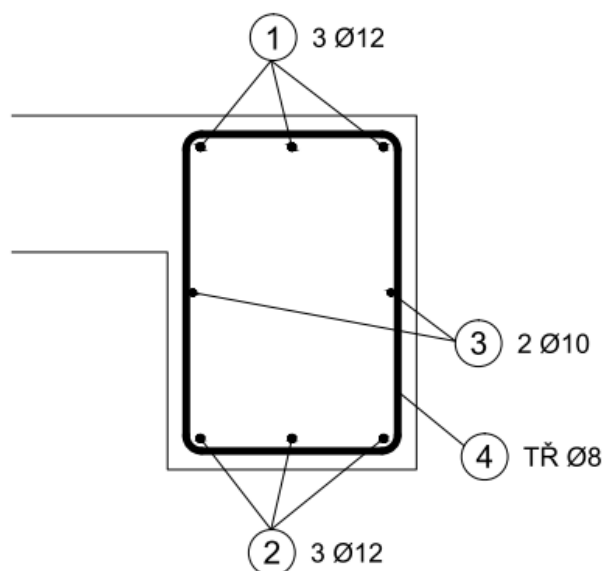
$$A_{sw} = n \cdot \left(\frac{\pi \cdot \phi_{sw}^2}{4}\right) = 2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 10^2}{4}\right) = 157,08 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{sw} \cdot f_{ywd}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot \cot \theta = \frac{157,08 \cdot 435}{105,2} \cdot 521,78 \cdot 1,5 = 508,36 \text{ mm}$$

Stupeň vyztužení

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b \cdot s} = \frac{157,08}{400 \cdot 350} = 0,0011$$

$$\rho_{sw,min} = 0,8 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0,08 \frac{\sqrt{30}}{500} = 0,00087 \quad \rho_{sw} > \rho_{sw,min} \dots \text{vyhovuje}$$

NÁVRH dvoustřížný třmínek Ø10 mm po 350 mm

Obr. 45 Schéma vyztužení ŽB trámu B04

9.1.4 Ohybová výztuž v místě napojení schodiště

Návrh ohybové výztuže

$$M_{Ed} = 147,7 \text{ kNm (nadpodporový moment)}$$

$$d_T = h_T - c - \frac{\phi}{2} - \phi_{T\check{R}} = 570 - 25 - \frac{16}{2} - 8 = 529 \text{ mm}$$

$$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d_T^2 \cdot f_{cd}} = \frac{147,7 \cdot 10^6}{400 \cdot 529^2 \cdot 20} = 0,066$$

$$\zeta = 0,964 \text{ (Tabulky)}$$

$$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{147,7 \cdot 10^6}{0,964 \cdot 529 \cdot 434,78} = 666,15 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1} = \pi \left(\frac{\phi}{2} \right)^2 = \pi \left(\frac{16}{2} \right)^2 = 201,1 \text{ mm}^2$$

$$\text{NÁVRH} \quad \mathbf{4 \times \phi 16 \text{ mm } (A_{s,prov} = 804,4 \text{ mm}^2)}$$

Posouzení

$$x = \frac{A_{s,prov} \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{804,4 \cdot 435}{0,8 \cdot 400 \cdot 20} = 54,67 \text{ mm}$$

$$z = d - 0,4 \cdot x = 529 - 0,4 \cdot 54,67 = 507,13 \text{ mm}$$

$$M_{Rd} = A_{s,prov} \cdot f_{yd} \cdot z = 804,4 \cdot 434,78 \cdot 507,13$$

$$M_{Rd} > M_{Ed}$$

$$177,3 \text{ kNm} > 147,7 \text{ kNm}$$

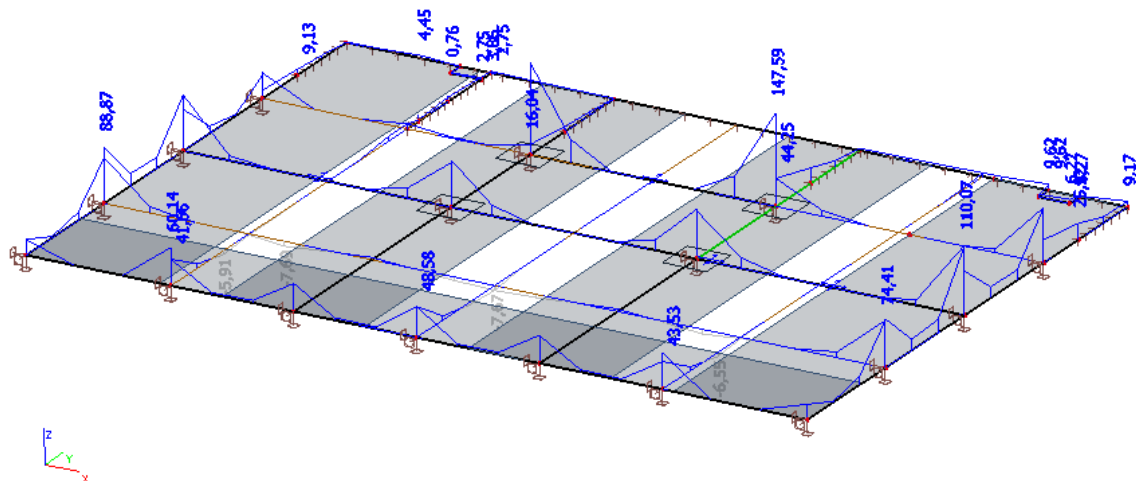
Ověření z hlediska ohybového namáhání

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{54,67}{529} = 0,1$$

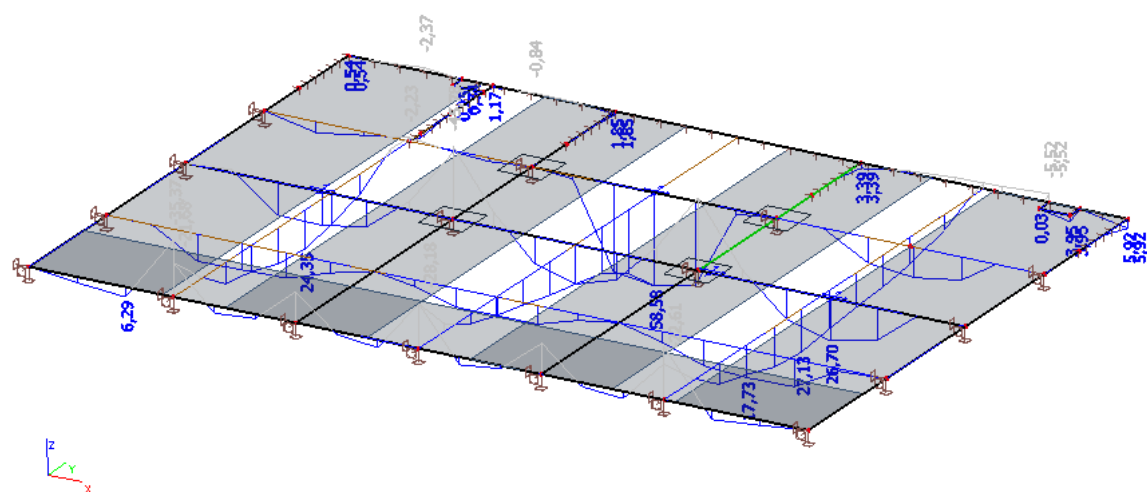
9.1.5 Obálky a izolinie ohybových momentů

9.1.5.1 Obálky a izolinie ohybových momentů pro návrhové hodnoty

A)

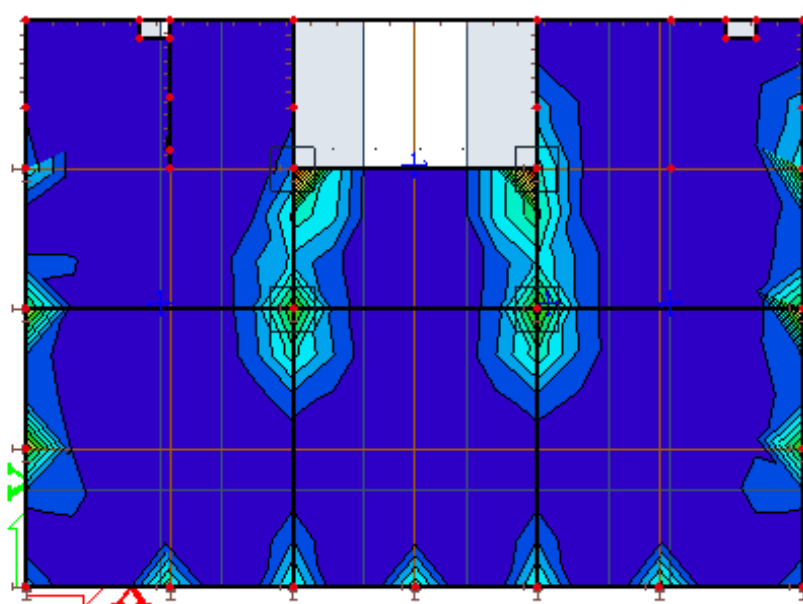


B)

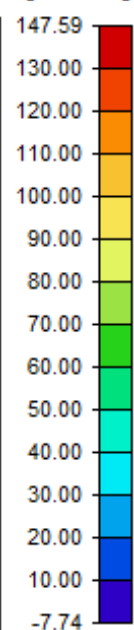


Obr. 46 Obálka ohybových momentů pro návrhové hodnoty a) m_{xD+} ,b) m_{xD-}

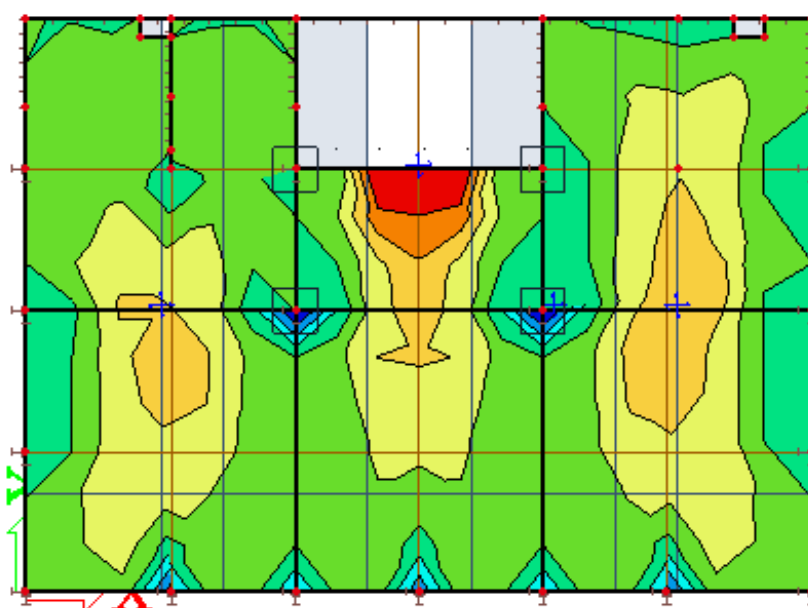
A)



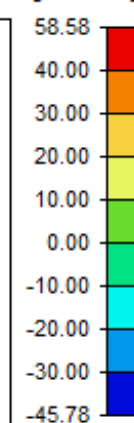
mxD+-max [kNm/m]



B)

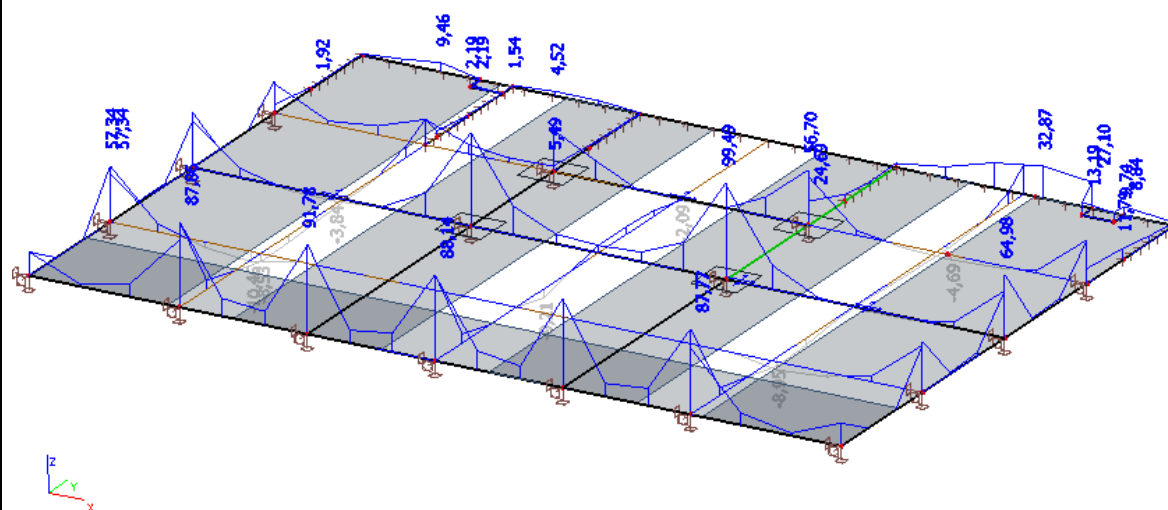


mxD--max [kNm/m]

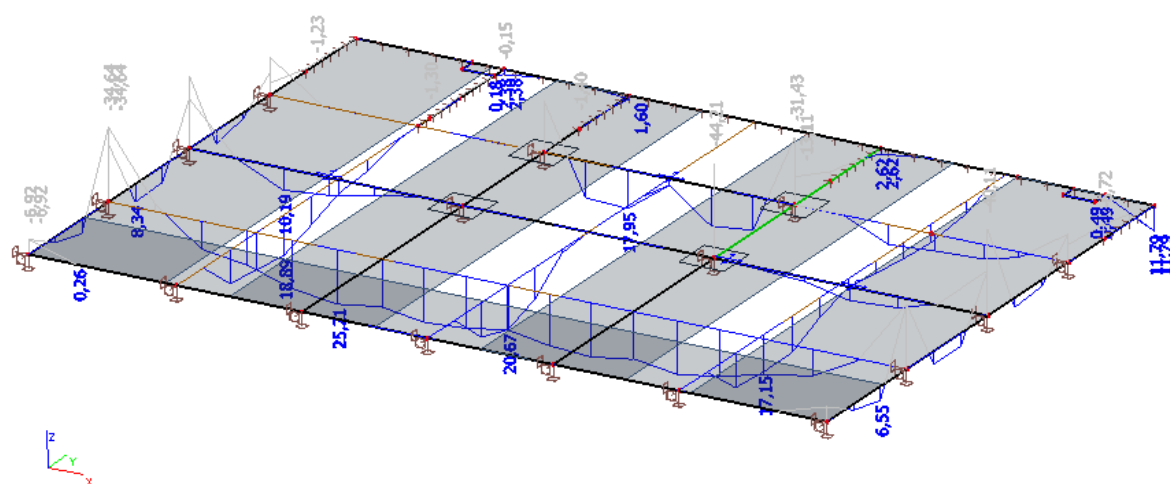


Obr. 47 Izolinie ohyb. momentů pro návrhové hodnoty a) mxD+ ,b) mxD-

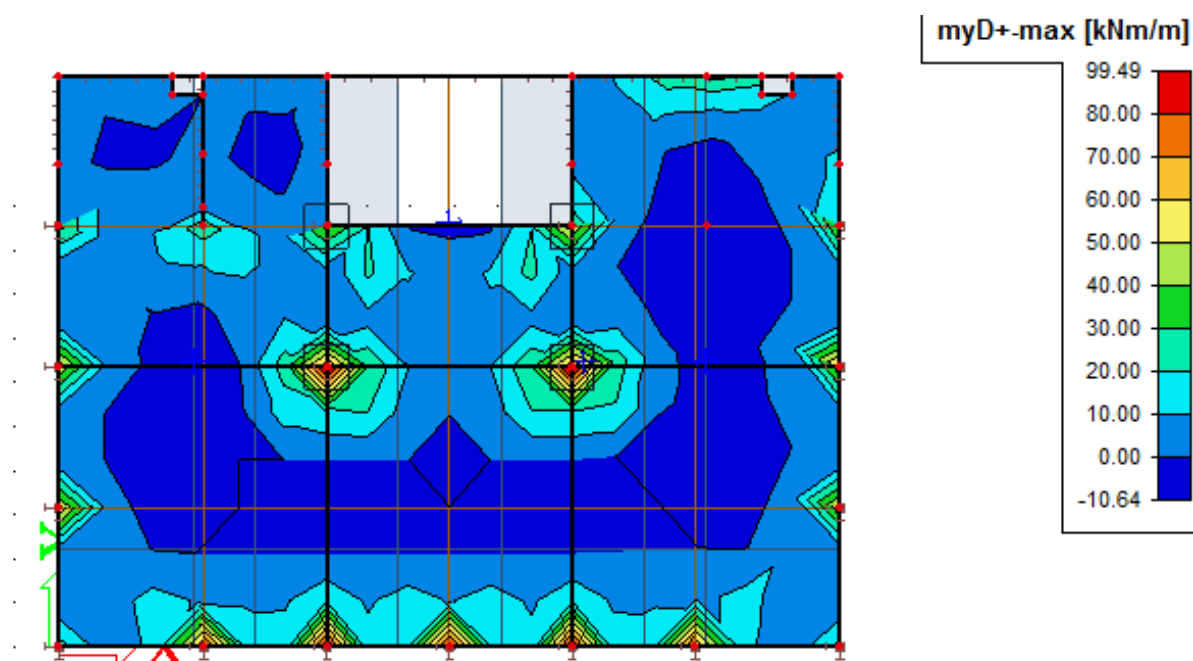
A)



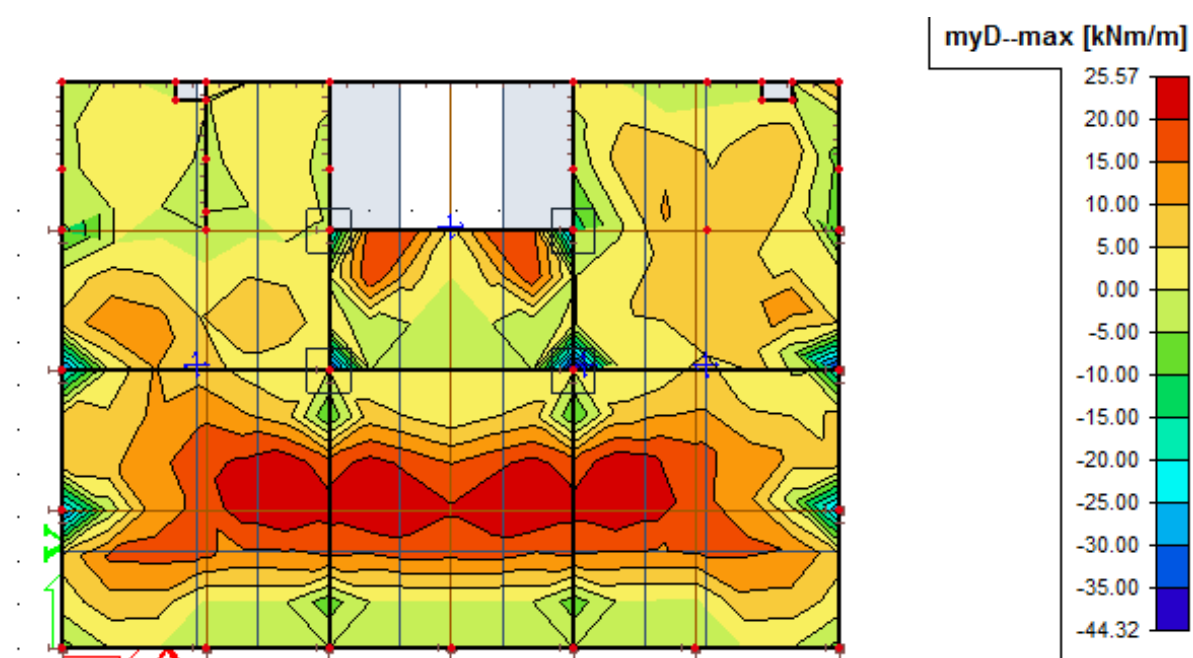
B)

Obr. 48 Obálka ohybových momentů pro návrhové hodnoty a) m_{yD+} , b) m_{yD-}

A)



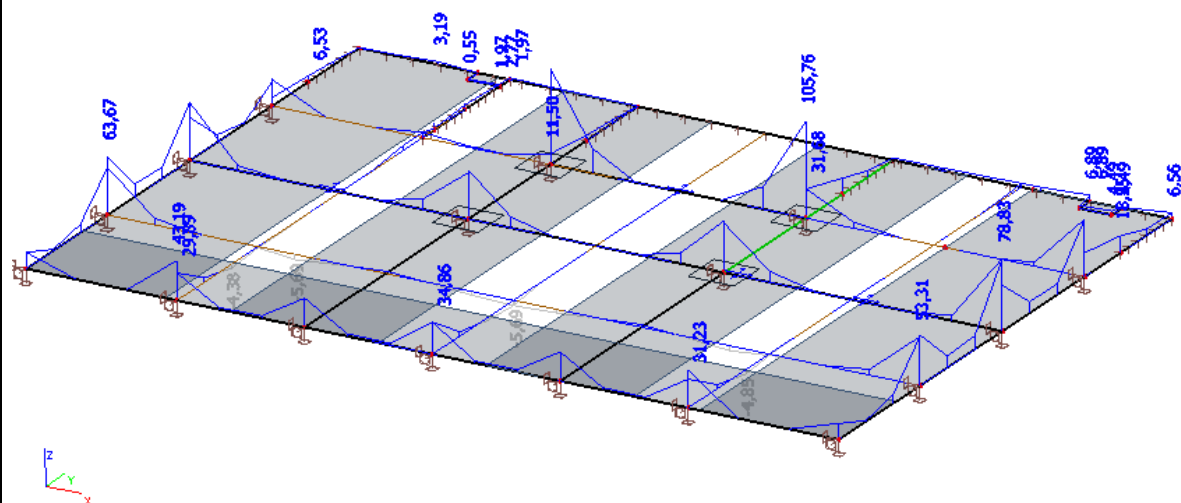
B)



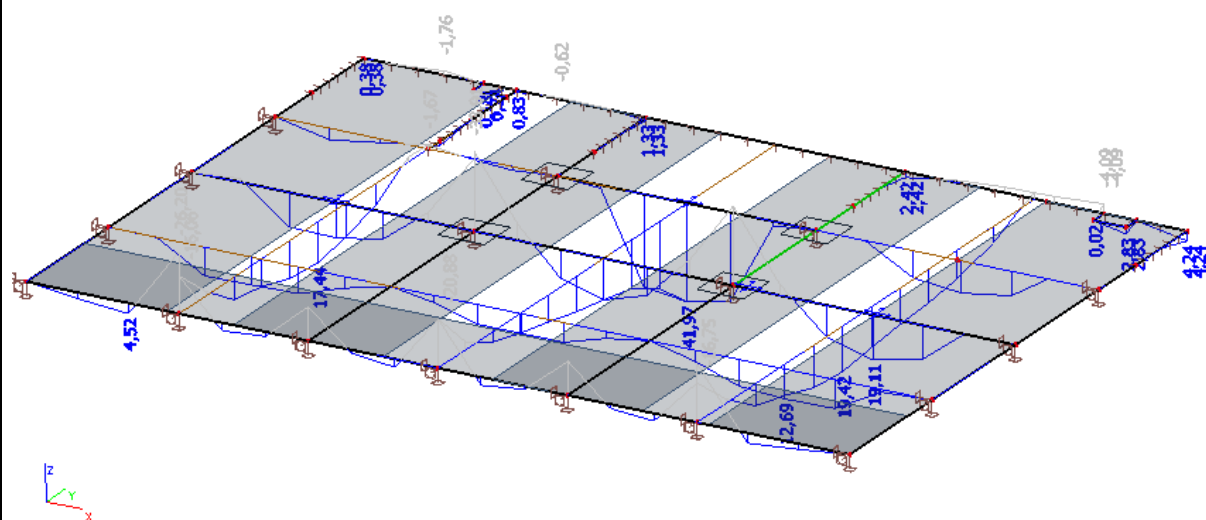
Obr. 49 Izolinie ohyb. momentů pro návrhové hodnoty a) myD+ ,b) myD-

9.1.5.2 Obálky a izolinie ohybových momentů pro charakteristické hodnoty

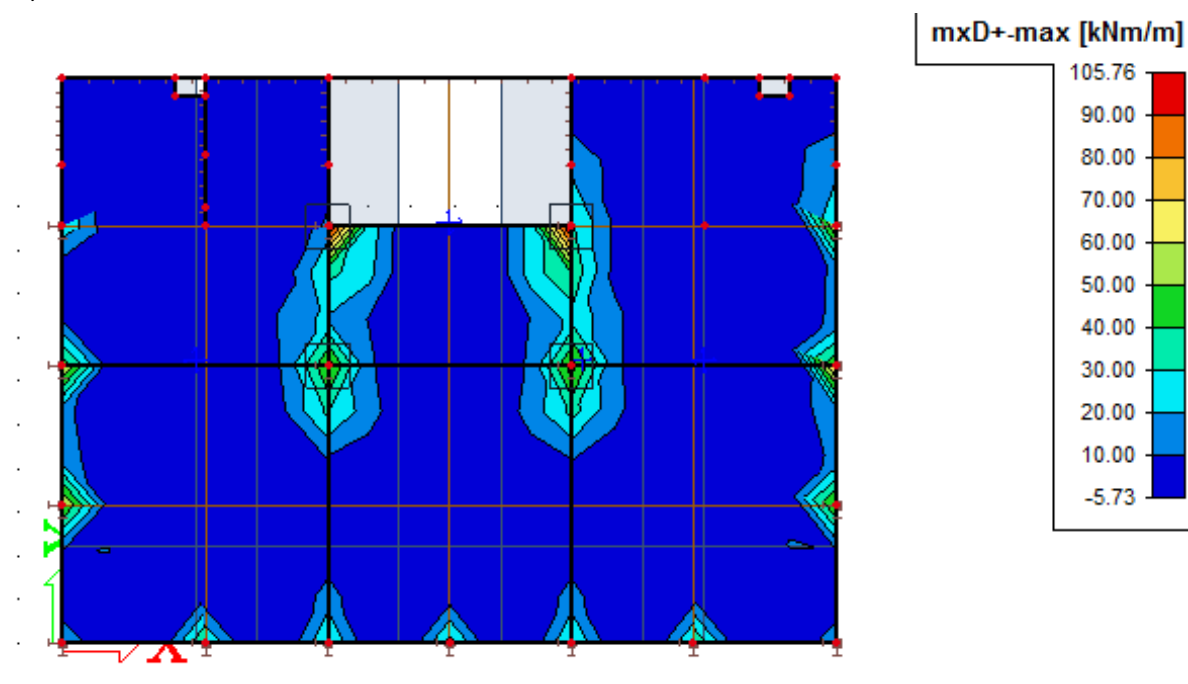
A)



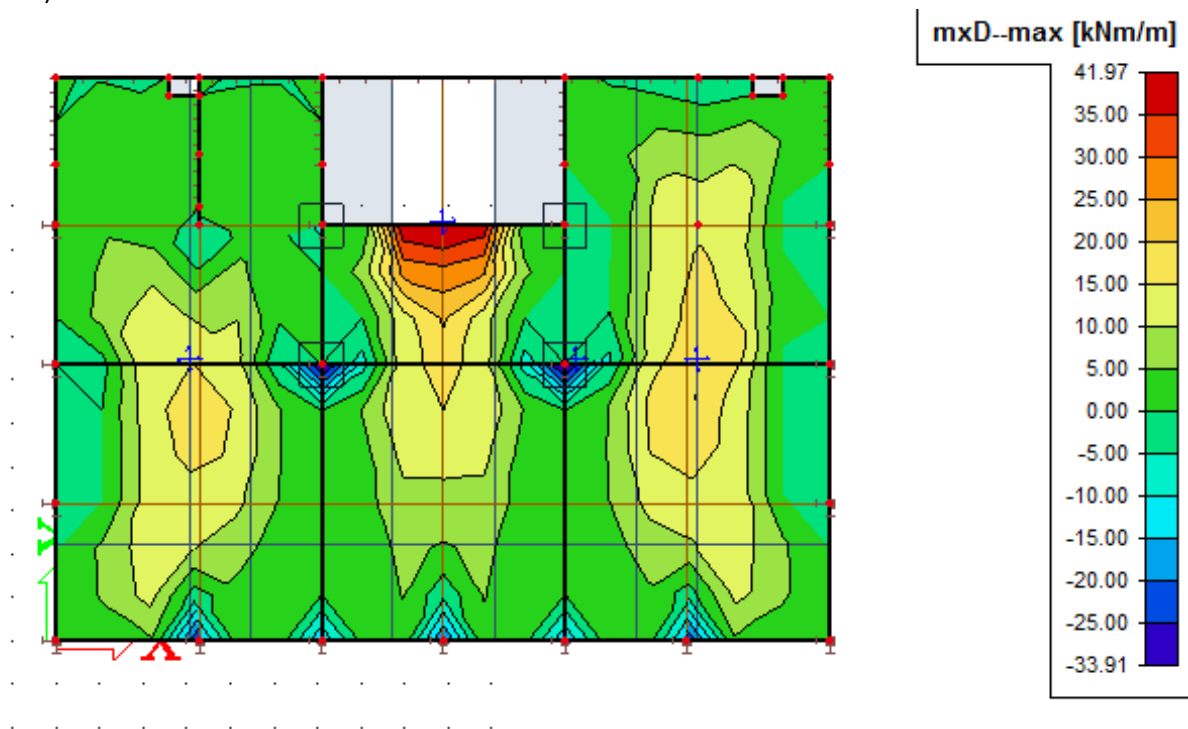
B)

Obr. 50 Obálky ohybových momentů pro charakteristické hodnoty a) m_{xD+} , b) m_{xD-}

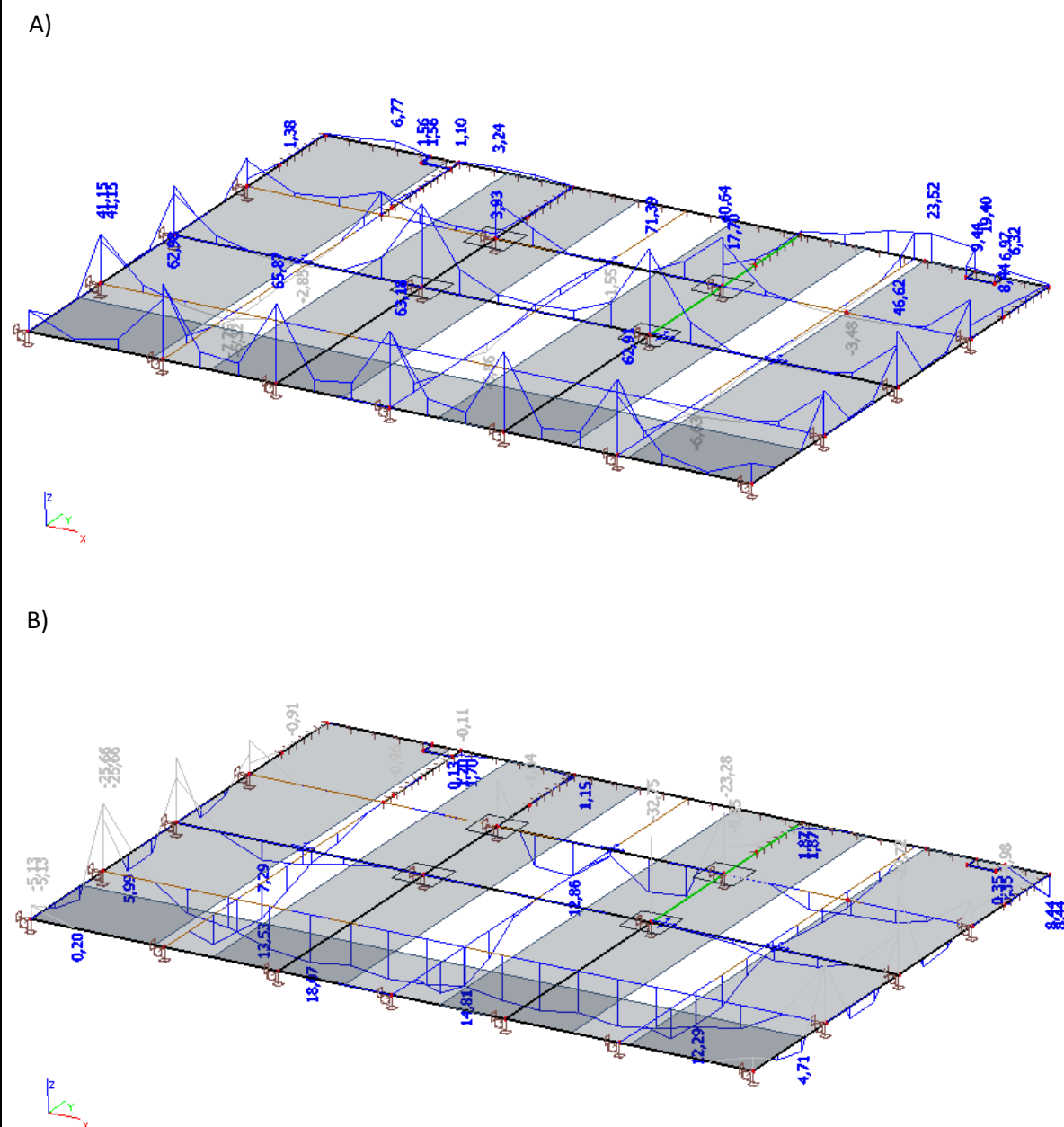
A)



B)

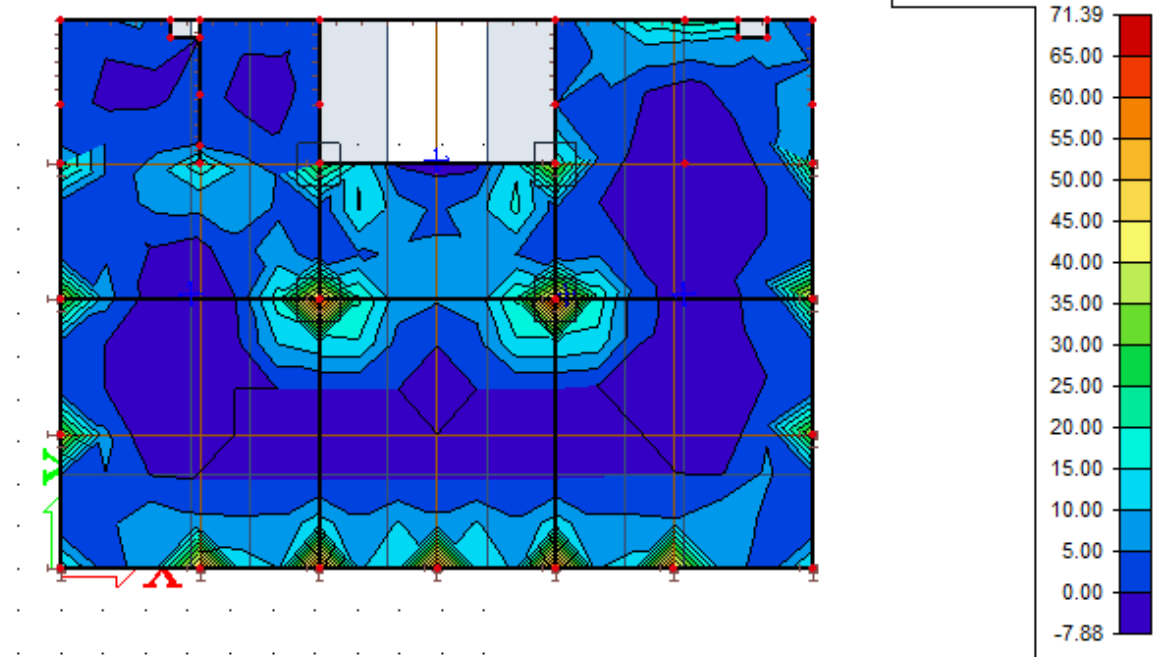


Obr. 51 Izolinie ohyb. momentů pro charakteristické hodnoty a) mxD+ ,b) mxD-

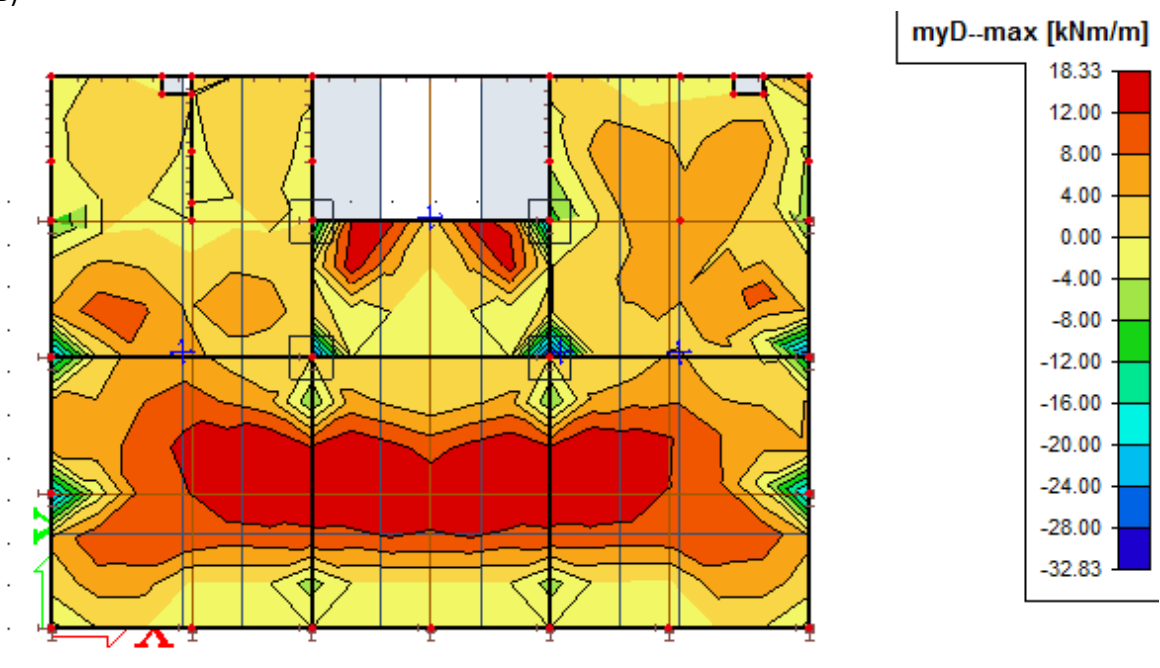


Obr. 52 Obálky ohybových momentů pro charakteristické hodnoty a) m_{yD+} , b) m_{yD-}

A)



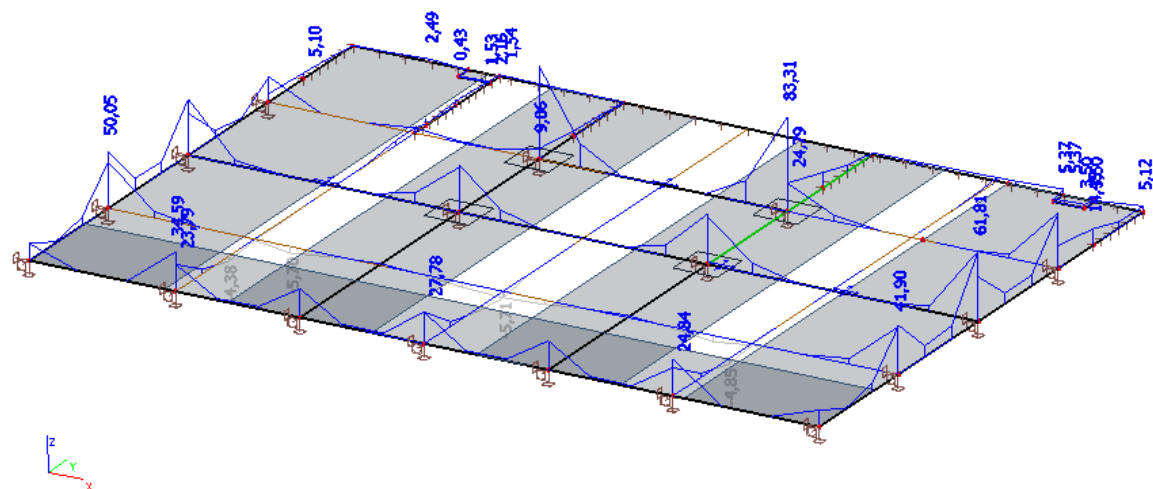
B)



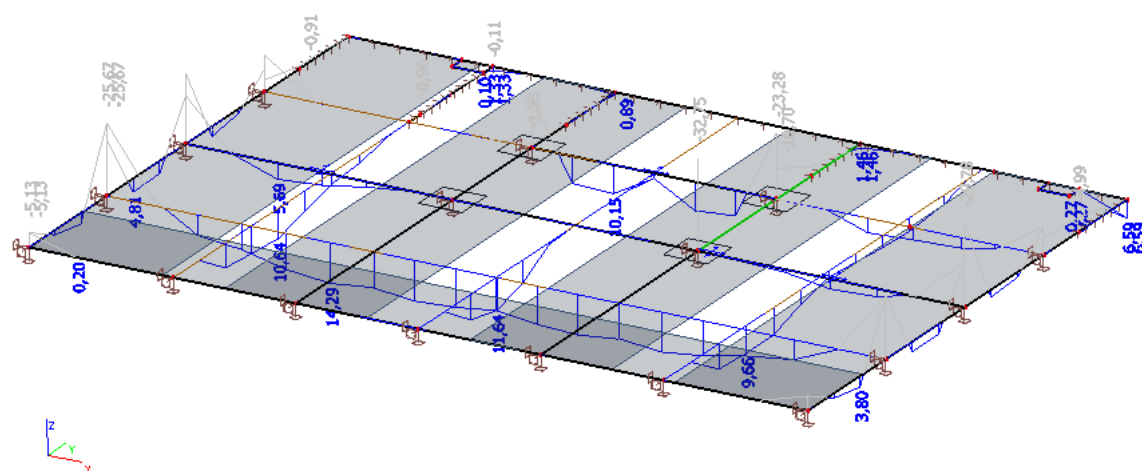
Obr. 53 Izolinie ohyb. momentů pro charakteristické hodnoty a) myD+ ,b) myD-

9.1.5.3 Obálky a izolinie ohybových momentů pro kvazistálé hodnoty

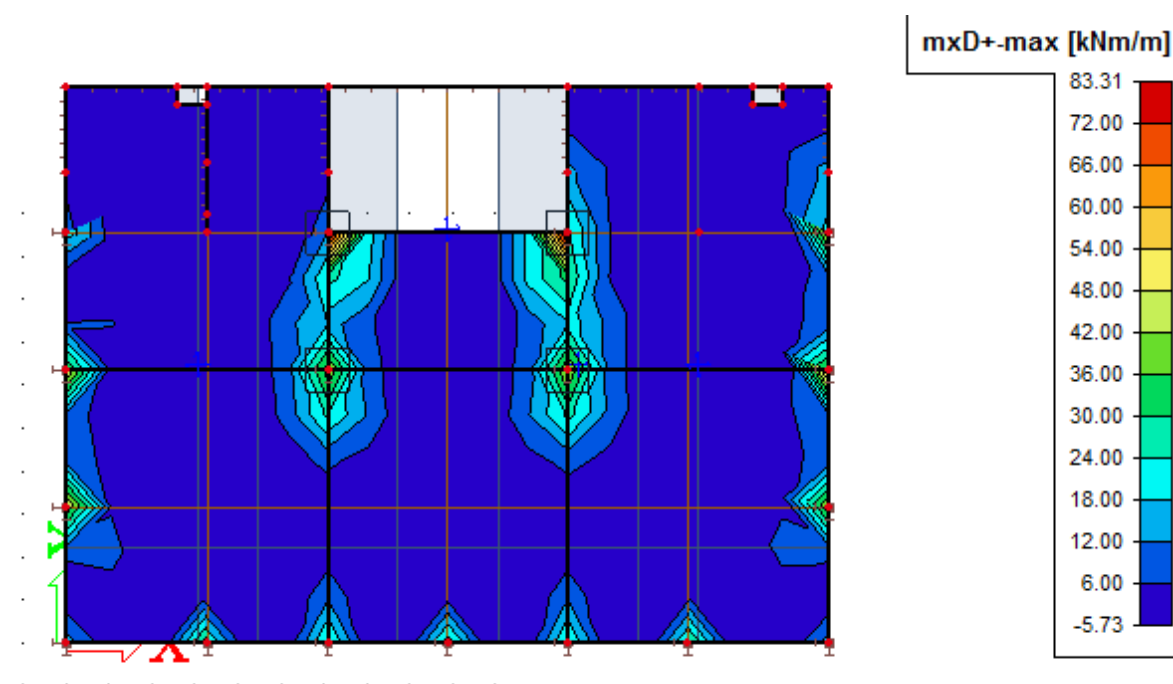
A)



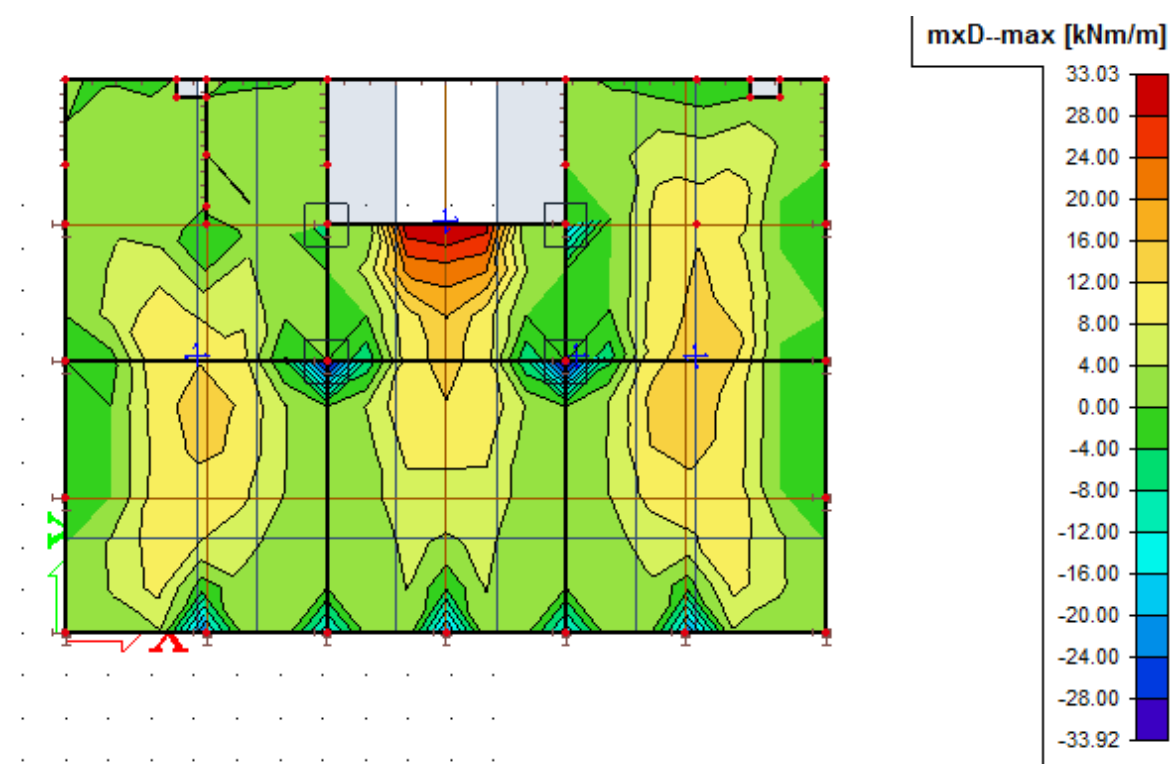
B)

Obr. 54 Obálky ohybových momentů pro kvazistálé hodnoty a) m_{xD+} , b) m_{xD-}

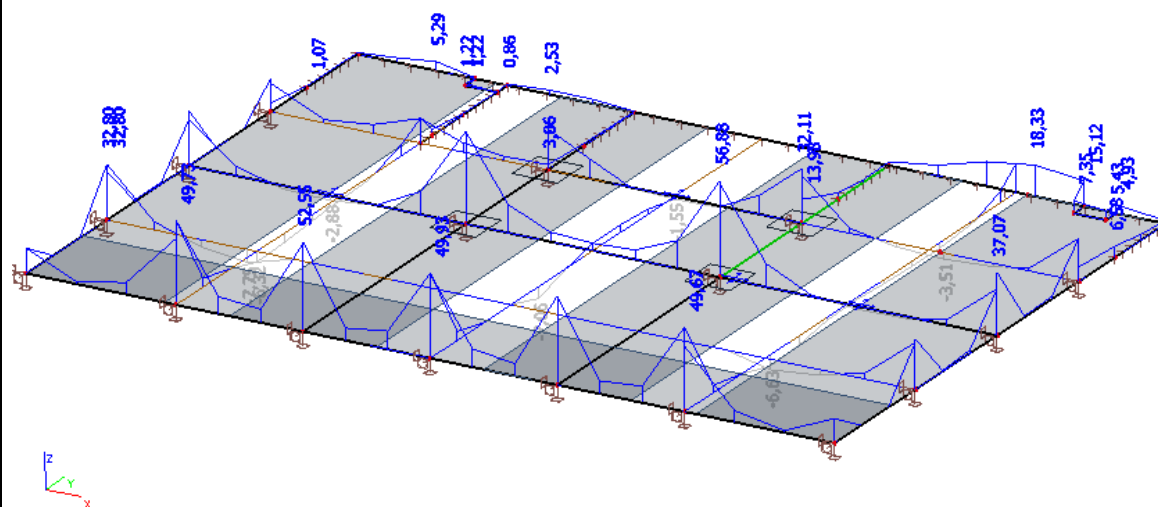
A)



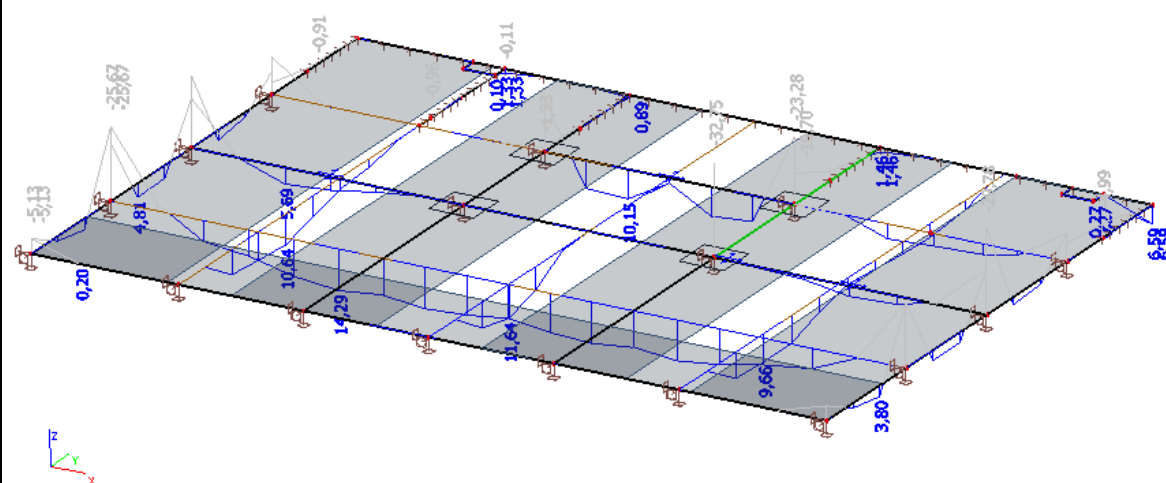
B)

Obr. 55 Izolinie ohyb. momentů pro kvazistálé hodnoty a) $mxD+$, b) $mxD-$

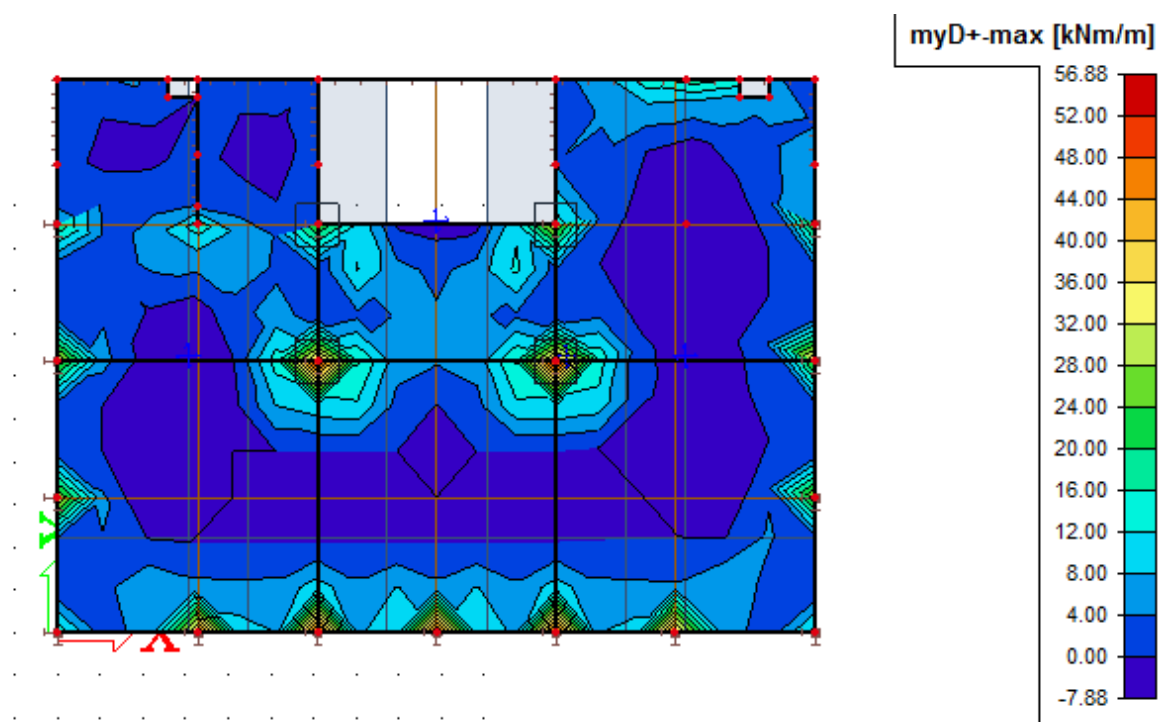
A)



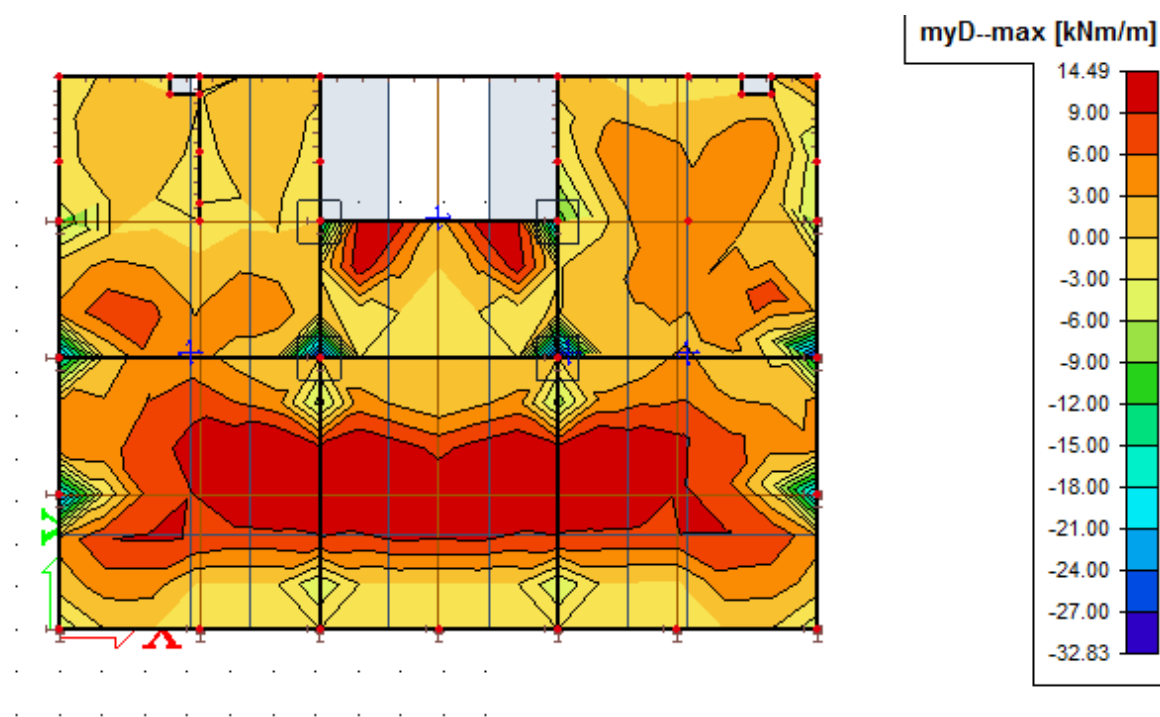
B)

Obr. 56 Obálky ohybových momentů pro kvazistálé hodnoty a) m_{yD+} , b) m_{yD-}

A)



B)



Obr. 57 Izolinie ohyb. momentů pro kvazistálé hodnoty a) myD+ ,b) myD-

9.2 Mezní stav únosnosti

9.2.1 Vstupní údaje

BETON C30/37- XC1 -CL 0,20 Dmax 22 - S4

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

OCEL B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 400 \text{ MPa}$$

TLOUŠŤKA DESKY

$$h_d = 220 \text{ mm}$$

9.2.2 Návrh výztuže

Z programu Scia Engineer byly převzaty hodnoty momentů do programu Excel. V tabulkách je výztuž rozdělená na horní a dolní, a navržena ve směru osy x a ve směru osy y. Postupovalo se podle vzorců viz str. 101.

POUŽITÉ VZORCE PŘI NÁVRHU VÝZTUŽE STROPNÍ DESKY

$d_x = h_d - c - 1,5 \cdot \phi$ [mm]	Účinná výška průřezu ve směru x
$d_y = h_d - c - 0,5 \cdot \phi$ [mm]	Účinná výška průřezu ve směru y
$\mu = \frac{M_{Ed}}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$ [-]	Poměrný ohybový moment
ξ [-] → tabulky	Poměr velikosti tlač. zóny a účinné výšky průřezu
ζ [-] → tabulky	Poměr ramene vnitřních sil a účinné výšky průřezu
$A_{s,req} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}}$ [mm ²]	Potřebná plocha výztuže
$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}}$ [mm]	Skutečná výška tlačené oblasti
$\xi = \frac{x}{d}$ [-]	Poměr velikosti tlač. zóny a účinné výšky průřezu
$z = d - 0,4 \cdot x$ [mm]	Rameno vnitřních sil
$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z$ [kNm]	Moment únosnosti

9.2.2.1 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - VÝZTUŽ VE SMĚRU OSY X a Y

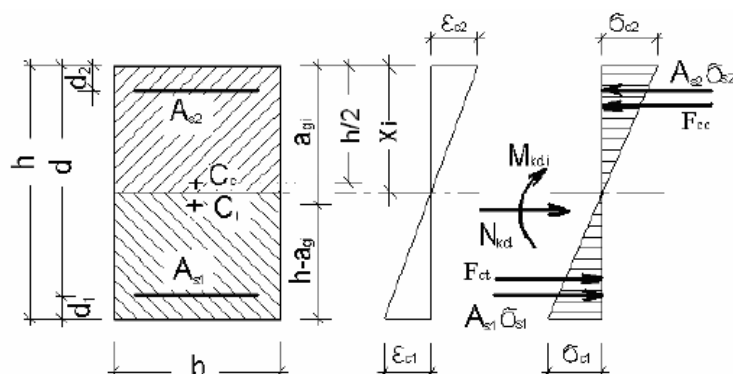
Oblast	Povrch	x/y	m,dim	profil	dx	dy	As,min	As,max	S,max	S,min	S	As,rqd	Kusů	As,prov	Kontrola As	kontrola S	x	mrd	mrd>med	$\xi=x/d$	ξ_{bal}	Kontrola ξ
-	-	-	[kNm/m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[mm ²]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm ²]	[ks]	[mm ²]	-	-	[mm]	[kNm/m]	[kNm/m]	-	-	-
Základní síť	H	x	25,53	12	189		255,53	7560	300	20	200	345,20	5	565,49	VYHOVUJE	VYHOVUJE	15,37	44,96	VYHOVÍ	0,081	0,45	VYHOVUJE
	H	y	32,28	12	177		239,3	7560	300	20	200	466,06	5	565,49	VYHOVUJE	VYHOVUJE	15,37	42,01	VYHOVÍ	0,087	0,45	VYHOVUJE
	D	x	26,70	10	190		256,88	7560	300	20	200	359,12	5	392,70	VYHOVUJE	VYHOVUJE	10,67	31,71	VYHOVÍ	0,056	0,45	VYHOVUJE
	D	y	24,49	10	180		243,36	7560	300	20	200	347,70	5	392,70	VYHOVUJE	VYHOVUJE	10,67	30,00	VYHOVÍ	0,059	0,45	VYHOVUJE
Příložky	H	x	110,07	16	187		252,82	7560	300	20	200	1504,22	5	1570,80	VYHOVUJE	VYHOVUJE	42,68	116,05	VYHOVÍ	0,228	0,45	VYHOVUJE
	H	y	99,49	16	175		236,6	7560	300	20	200	1452,87	5	1570,80	VYHOVUJE	VYHOVUJE	42,68	107,86	VYHOVÍ	0,244	0,45	VYHOVUJE

Deska tloušťky:	220 mm		
Krytí:	25 mm		
Char. max. napětí ve výztuži:	500 Mpa	Návrhové max. napětí	434,8 Mpa
Char. pevnost betonu:	30 Mpa	Návrhová pevnost betonu	20 Mpa
f _{ctm} :	2,6 Mpa		

Tab. 16 Mezní stav únosnosti – výztuž ve směru osy x a y

9.3 Mezní stav použitelnosti

Deska 3.NP vyhověla všem kritériím mezního stavu únosnosti, ale musíme jí ověřit na mezní stav použitelnosti. V mezním stavu použitelnosti se prokazují vlastnosti konstrukce s přihlédnutím k provozu a k životnosti. Pro minimalizaci účinků smršťování byla navržena výztuž i od zatížení u tlačného povrchu.



Obr. 58 Průřez

MEZIPODPOROVÝ PRŮŘEZ

Vstupní údaje

rozpětí průřezu	$l =$	5,6 m
výška průřezu	$h =$	0,22 m
šířka průřezu	$b =$	1 m

TAŽENÁ VÝZTUŽ

krytí výztuže betonem	$c =$	0,025 m
průměr prutu výztuže	$\Phi =$	0,016 m
účinná výška průřezu	$d_1 =$	0,187 m
plocha výztuže v extrémně namáhaném průřezu		
a) přes počet profilů v průřezu	$n =$	10 -
b) přes vzdálenost prutů výztuže	$s =$	0,2 m
plocha výztuže	$A_{s, prov} =$	2010,6193 mm ²

TLAČENÁ VÝZTUŽ

krytí výztuže betonem	$c =$	0,025 m
průměr prutu výztuže	$\Phi =$	0,016 m
účinná výška průřezu	$d_2 =$	0,033 m
plocha výztuže v extrémně namáhaném průřezu		
a) přes počet profilů v průřezu	$n =$	10 -
b) přes vzdálenost prutů výztuže	$s =$	0,2 m
plocha výztuže a	$A_{s, prov} =$	2010,6193 mm²

momenty - kvazistálé zatížení

(VIZ. SCIA)

<i>Moment Ma =</i>	-80,1 kNm
<i>Moment Mb =</i>	-83,31 kNm
<i>Moment Mf =</i>	33,03 kNm
b	4,95

9.3.1 Charakteristiky průřezu od krátkodobě působícího zatížení

Mezipodporové momenty byly převzaty z programu Scia Engineer.

- od kvazistálého zatížení	$M_{qp} =$	33,03 kNm
- od charakteristického zatížení	$M_{ek} =$	41,97 kNm

α_e poměr modulů pružnosti výztuže a betonu

$$\alpha_e = E_s / E_{cm} = 6,25 -$$

$E_{c,eff}$ efektivní modul pružnosti betonu

$$E_{c,eff} = E_{cm} = 32 \text{ GPa}$$

A) Průřez bez trhlin

- geometrie-ideální průřez

A_i ideální plocha ideálního průřezu

$$A_i = b \cdot h + \alpha_e \cdot A_{s1} + (\alpha_e - 1) \cdot A_{s2} = 0,24513274 \text{ m}^2$$

x_i vzdálenost od těžiště

$$x_i = \frac{A_c \cdot \frac{h}{2} + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{st} \cdot d_1 + A_{sc} \cdot d_2)}{A_i} = 0,11 \text{ m}$$

I_i moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$I_i = 1/12 \cdot b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot (x_i - h/2)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{st}(d_1 - x_i)^2 + A_{sc}(x_i - d_2)^2] = 0,00103635 \text{ m}^4$$

- $M_{cr,st}$ ohybový moment při vzniku trhlin

$$M_{cr,st} = f_{ctm} \frac{I_i}{h - x_i} = 27,3218321 \text{ kNm}$$

Posouzení - charakteristická kombinace

$$M_{ek} = 41,97 \text{ kNm} \leq M_{cr} = 27,322 \text{ kNm}$$

TRHLINY VZNIKAJÍ

B) Průřez s trhlinami- geometrie - průřez s trhlinou x_{ir} tloušťka tlačného betonu

$$x_{ir} = \frac{(\alpha_e - 1)(A_{s1} + A_{s2})}{b} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b}{(\alpha_e - 1)} \frac{A_{s1}d + A_{s2}d_2}{(A_{s1} + A_{s2})^2}} \right] = 0,05023432 \text{ m}$$

 I_{ir} moment setrvačnosti ideálního průřezu s trhlinou

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x_{ir}^3 + (\alpha_e - 1) \left[A_{s1}(d - x_{ir})^2 + A_{s2}(x_{ir} - d_2)^2 \right] = 0,00024283 \text{ m}^4$$

 θ_2 součinitel vyjadřující vliv doby trvání nebo opakování zatížení- pro jednorázově krátkodobě působící zatížení $\theta_2 = 1,0$ - pro dlouhodobě nebo mnohonásobně opakovaně působící zatížení $\theta_2 = 0,5$

$$\theta_2 = 1 -$$

Tahové zpevnění

$$\zeta_{g,st} = 1 - \beta_2 \left(\frac{M_{\sigma,st}}{M_{gk}} \right)^2 = 0,57621879 -$$

MEZNÍ STAV OMEZENÍ NAPĚTÍ**Napětí extrémně namáhaných vláken**

kvazistálá komb. $\sigma_{c,qp} = -\frac{M_{Eqp}}{I_{ir}} \cdot x_{ir} = 6,833 \text{ Mpa}$

$$|\sigma_{c,qp}| \leq 0,45 \cdot f_{ck}$$

6,833

<

13,5

VYHOVUJE

charakteristická komb.

$$\sigma_{s1,k} = (\alpha_s - 1) \cdot \frac{M_{Ek}}{I_{ir}} \cdot (d - x_{ir}) = 97,664 \text{ Mpa}$$

$$\sigma_{s1,k} \leq 0,8 \cdot f_{yk}$$

97,664

<

400

VYHOVUJE

Mezní stav - průhyb

Pro výpočet průhybu stropní desky budou použity výstupy metody konečných prvků (MKP). Hodnota průhybu bude upravena s ohledem na vznik trhlin a dotvarováním betonu.

9.3.2 Charakteristiky průřezu od dlouhodobě působícího zatížení

Trhliny teoreticky pro kvazistále působící zatížení nevznikají. Vzhledem k tomu, že předchozí výpočet prokázal, že při charakteristickém zatížení trhliny vznikají, bude v dalším výpočtu uvažováno oslabení průřezů trhlinami. To bude do výpočtu zavedeno pomocí součinitele ζ , při uvažování poměru ($M_{cr,lt}/M_{qp}$) rovno 1.

α_e poměr modulů pružnosti výztuže a betonu

$$\alpha_e = E_s / E_{ceff} = 18,75 -$$

E_{ceff} efektivní modul pružnosti betonu

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} = 10,6667 \text{ GPa}$$

$\varphi(\infty, t_0)$ součinitel dotvarování

$$\varphi(\infty, t_0) = 2 -$$

A) Průřez bez trhlín

- geometrie-ideální průřez

A_i ideální plocha ideálního průřezu

$$A_i = b \cdot h + \alpha_e \cdot A_{s1} + \alpha_e \cdot A_{s2} = 0,26289321 \text{ m}^2$$

x_i vzdálenost od těžiště

$$x_i = \frac{A_c \cdot \frac{h}{2} + (\alpha_e - 1) \cdot (A_{st} \cdot d_1 + A_{sc} \cdot d_2)}{A_i} = 0,11 \text{ m}$$

I_i moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$I_i = 1/12 \cdot b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot (x_i - h/2)^2 + (\alpha_e - 1) [A_{st}(d_1 - x_i)^2 + A_{sc}(x_i - d_2)^2] = 0,00133437 \text{ m}^4$$

- $M_{cr,lt}$ ohybový moment při vzniku trhlín

$$M_{cr,lt} = f_{ctm} \frac{I_i}{h - x_i} = 35,1788297 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$M_{qp} = 33,03 \text{ kNm} \leq M_{CR} = 35,18 \text{ kNm}$$

TRHLINY NEVZNIKAJÍ

$$M_{ek} = 41,97 \text{ kNm} \leq M_{CR} = 35,18 \text{ kNm}$$

TRHLINY VZNIKAJÍ

B) Průřez s trhlinami- geometrie-ideální průřez x_{ir} tloušťka tlačného betonu

$$x_{ir} = \frac{(\alpha_e - 1)}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b}{(\alpha_e - 1)} \frac{A_{s1}d + A_{s2}d_2}{(A_{s1} + A_{s2})^2}} \right]. \quad x_{ir} = 0,07283678 \text{ m}$$

 I_{ir} moment setrvačnosti průřezu s trhlinou

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x_{ir}^3 + (\alpha_e - 1) \left[A_{s1} (d - x_{ir})^2 + A_{s2} (x_{ir} - d_2)^2 \right]. \quad = 0,00065058 \text{ m}^4$$

 θ_2 součinitel vyjadřující vliv doby trvání nebo opakování zatížení- pro jednorázově krátkodobě působící zatížení $\theta_2 = 1,0$ - pro dlouhodobě nebo mnohonásobně opakovaně působící zatížení $\theta_2 = 0,5$

$$\theta_2 = 0,5 -$$

Tahové zpevnění

$$\zeta_{g,lt} = 1 - \beta_2 \left(\frac{M_{\sigma,lt}}{M_{qp}} \right)^2 = 0,5 -$$

9.3.3 Charakteristiky ideálního průřezu od smršťování

α_e poměr modulů pružnosti výztuže a betonu

$$\alpha_e = E_s / E_{eff} = 25,625 -$$

E_{eff} efektivní modul pružnosti betonu

$$E_{eff} = \frac{E_{cm}}{(1 + \varphi_{cs})} = 7,80487805 \text{ GPa}$$

$\varphi(\infty, t_o)$ součinitel dotvarování

Stáří betonu při vnesení zatížení t_0 [dny]	Náhradní tloušťka $2 A_e / u$ [mm]					
	50	150	600	50	150	600
	suché atmosferické prostředí (RH = 50%)			vlhké atmosferické prostředí (RH = 80%)		
1	5,4	4,4	3,6	3,5	3	2,6
7	3,9	3,2	2,5	2,5	2,1	1,9
28	3,2	2,5	2	1,9	1,7	1,5
90	2,6	2,1	1,6	1,6	1,4	1,2
365	2	1,6	1,2	1,2	1	1
V tabulce lze lineárně interpolovat						

$$\varphi_{cs} = 3,1 -$$

A) Průřez bez trhlin

A_i ideální plocha ideálního průřezu

$$A_i = b \cdot h + (\alpha_e - 1) \cdot A_{s1} + (\alpha_e - 1) \cdot A_{s2} = 0,32304424 \text{ m}^2$$

x_i vzdálenost od těžiště

$$x_i = \frac{A_e \cdot \frac{h}{2} + (\alpha_e - 1)(A_{s1} \cdot d_1 + A_{s2} \cdot d_2)}{A_i} = 0,11 \text{ m}$$

I_i moment setrvačnosti ideálního průřezu

$$I_i = 1/12 \cdot b \cdot h^3 + b \cdot h \cdot (x_i - h/2)^2 + (\alpha_e - 1)[A_{s1}(d_1 - x_i)^2 + A_{s2}(d_2 - x_i)^2] = 0,00149828 \text{ m}^4$$

$1/r_{csI}$ křivost od smršťování

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{csI} = \varepsilon_{cs} (\alpha_e - 1) \cdot \frac{A_{s1}(d_1 - Xr) + A_{s2}(d_2 - Xr)}{I_i} = 0,0000\text{E}+00 \text{ m}^{-1}$$

ε_{cs} poměrné přetvoření od celkového smršťování

Umístění prvku	Relativní vlhkost RH [%]	Náhradní tloušťka	
		$2 A_e / u$ [mm]	
		≤ 150	≥ 600
uvnitř	50	- 0,60	- 0,50
venku	80	- 0,33	- 0,28
V tabulce lze lineárně interpolovat			

$$\varepsilon_{cs} = -0,0006 -$$

B) Průřez s trhlinami x_{ir} tloušťka tlačného betonu

$$x_{ir} = \frac{(\alpha_e - 1)}{b} (A_{s1} + A_{s2}) \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2b}{(\alpha_e - 1)} \frac{A_{s1}d + A_{s2}d_2}{(A_{s1} + A_{s2})^2}} \right] = 0,07871449 \text{ m}$$

 I_{ir} moment setrvačnosti ideálního průřezu s trhlinou

$$I_{ir} = \frac{1}{3} b x_{ir}^3 + (\alpha_e - 1) [A_{s1}(d - x_{ir})^2 + A_{s2}(x_{ir} - d_2)^2] = 0,0008466 \text{ m}^4$$

 $1/r_{csII}$ křivost od smršťování

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{csII} = \varepsilon_{cs0} (\alpha_e - 1) \frac{A_{s1}(d1 - x_{ir}) + A_{s2}(d2 - x_{ir})}{I_{ir}} = 0,00228476 \text{ m}^{-1}$$

 ε_{cs} poměrné přetvoření od celkového smršťování

$$\varepsilon_{cs} = 0,0006 -$$

Výsledná křivost od smršťování

$$\left(\frac{1}{r} \right)_{cs} = (1 - \zeta) \left(\frac{1}{r} \right)_{csI} + \zeta \left(\frac{1}{r} \right)_{csII} = 0,00114238 \text{ m}^{-1}$$

 ζ rozdělovací součinitel

$$\zeta = 1 - \beta_2 \left(\frac{M_{cr,d}}{M_{qp}} \right)^2 = 0,5 -$$

 θ_2 součinitel vyjadřující vliv doby trvání nebo opakování zatížení

- pro jednorázově krátkodobě působící zatížení $\theta_2 = 1,0$
- pro dlouhodobě nebo mnohonásobně opakovaně působící zatížení $\theta_2 = 0,5$

$$\theta_2 = 0,5 -$$

4) průhyb od zatížení

Hodnota ω_{sh} pro přibližný výpočet průhybu od smršťování převzata z Tab. 16.3 Navrhování ŽB konstrukcí.

Průhyb pro dlouhodobý účinek smršťování

$$f_{cs} = 0,063 \left(\frac{1}{r} \right)_{cs} l^2 = 1,791 \text{ mm}$$

5) výsledný průhyb

$$I_{st} = \frac{I_I \cdot I_{II}}{\zeta \cdot I_I + (1 - \zeta) \cdot I_{II}} \rightarrow I_{vysl} = \frac{I_{i,l} \cdot I_{r,l}}{2} = 0,00099247 \text{ m}^4$$

$$y_{mkp} = 4 \text{ mm (převzato SCIA)}$$

$$y_{celk} = y_{mkp} \cdot \frac{E_{cm}}{E_{c,eff}} \cdot \frac{I_c}{I_{vysl}} + f_{cs} = 17,535 \text{ mm}$$

poměr vlivu dotvarováním

$$\frac{E_{cm}}{E_{c,eff}} = 3,00$$

poměr vlivu trhlin

$$\frac{I_c}{I_{vysl}} = 1,31$$

6) mezní přípustná hodnota průhybu

$$y_{lim} = \frac{1}{250} l = 22,4 \text{ mm}$$

7) posouzení

$$y_{lim} = 22,4 \text{ mm} \geq y_{celk} = 17,535 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Na výsledný průhyb byla použita hodnota z programu Scia Engineer, která byla upravena s ohledem na dotvarování betonu poměrem modulu pružnosti betonu, modulu přetvárnosti betonu a s ohledem na vliv oslabení průřezu trhlinami. K tomuto průhybu se následně přičetl průhyb od dlouhodobého účinku smršťování. Celková deformace, která činí přibližně 17,5 mm vyhovuje mezní přípustné hodnotě průhybu podle ČSN EN 1992-1-1. V následující tabulce jsou shrnuty nejdůležitější veličiny z výpočtů mezního stavu použitelnosti.

SROVNÁNÍ KRÁTKODOBÉHO A DLOUHODOBÉHO CHOVÁNÍ KONSTRUKCE							
ZATÍŽENÍ		KRÁTKODOBÉ		DLOUHODOBÉ		SMRŠŤOVÁNÍ	
		BEZ TRHLIN	S TRHLINOU	BEZ TRHLIN	S TRHLINOU	BEZ TRHLIN	S TRHLINOU
φ	-	0		2		3,1	
α	-	6,25		18,75		25,63	
$E_{c,eff}$	Gpa	32		10,67		7,80	
x	m	0,11	0,050	0,110	0,073	0,110	0,079
I_y	m ⁴	0,001036	0,000243	0,001334	0,000651	0,001498	0,000847

Tab. 17 Srovnání krátkodobého a dlouhodobého chování konstrukce

10 Závěr

Tématem mé diplomové práce byl návrh přestavby konstrukce sila v Olomouci. V úvodu práce byl proveden předběžný návrh nosných prvků konstrukce. Podrobněji jsem se zaměřil na návrh atypického sloupu, který podpírá nástavbu ve výši 17 m. S tím souvisí důležitý výpočet vzpěrné délky. Ten byl proveden třemi různými metodami. První dle ČSN EN 1992-1-1, druhý programem Scia Engineer a třetí dle ČSN P ENV 1992-1-1. Výsledky byly téměř stejné, lišily se pouze nepatrně. Účinky druhého řádu jsem provedl dle metody založené na jmenovité křivosti, dále metodou založenou na ohybových tuhostech a nakonec iterací v programu Scia Engineer pomocí změn výstředností a vodorovnými silami. Výpočty dle těchto metod vyšly rozdílně. Jako nejvyšší a tím i nejvíce bezpečné vyšly hodnoty dle metody jmenovité křivosti, podle kterých jsem se rozhodl dále postupovat. Pomocí interakčního diagramu jsem navrhl a posoudil výztuž těchto sloupů. Neméně důležité je založení těchto sloupů do základové patky podpírané pilotami. Nakonec jsem provedl návrh výztuže desky dle mezního stavu únosnosti a s ohledem na mezní stav použitelnosti. Na výsledný průhyb byla použita hodnota z programu Scia Engineer, která byla upravena s ohledem na dotvarování betonu poměrem modulu pružnosti betonu, modulu přetvárnosti betonu a s ohledem na vliv oslabení průřezu trhlinami.

V dalších částech diplomové práce jsem se zaměřil na návrh ocelové konstrukce v posledním patře nástavby sila a založení objektu na vrtaných pilotách.

Ke všem částem diplomové práce je přiložena výkresová a výpočtová dokumentace a technická zpráva.

11 Přehled použité literatury

Normy a předpisy:

- [1] ČSN EN 1992-1-1: *Navrhování betonových konstrukcí - část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ÚNMZ, listopad 2006.
- [2] ČSN P ENV 1992-1-1 (731201): *Navrhování betonových konstrukcí - část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ÚNMZ, 1994.
- [3] ČSN 73 0035: *Zatížení stavebních konstrukcí*. Praha: ÚNMZ, 1988.

Knihy:

- [4] KOHOUTKOVÁ, PROCHÁZKA, VAŠKOVÁ. *Navrhování železobetonových konstrukcí - Příklady a postupy*. Praha: České vysoké učení technické, 2014. 256 s. ISBN 978-80-01-05587-8.
- [5] HANZLOVÁ, ŠMEJKAL. *Betonové a zděné konstrukce 1 - Základy navrhování betonových konstrukcí*. Praha: České vysoké učení technické, 2015. 256 s. ISBN 978-80-01-05323-2.
- [6] FOGLAR. *Betonové konstrukce 3 – Navrhování betonových konstrukcí na MSP, úvod do předpjatého betonu*. Praha: České vysoké učení technické, 2012. 149 s. ISBN 978-80-01-05323-2.
- [7] PROCHÁZKA, ŠMEJKAL. *Betonové základové a opěrné konstrukce*. Praha: České vysoké učení technické, 2017. 170 s. ISBN 978-80-01-06128-2.

Články:

- [8] KRYNEK. V Olomouci přestavují staré silo na nové kanceláře. *Designmag*. 2013, 1, s 1-1.[2.10.2017] .ISSN 2464-6202.
- [9] ŠMEJKAL, PROCHÁZKA. Navrhování základových konstrukcí s použitím modelů náhradní příhradoviny. *Beton - technologie, konstrukce, sanace*. 2011, 2, s 76-86. ISSN 1213-3116.

Firemní literatura:

- [10] HALFEN [online]. DEHA KUGELKOPF-TRANSPORTANKERSYSTEM. 2017. [29.11.2017]. Dostupné z http://downloads.halfen.com/catalogues/de/media/catalogues/liftingsystems/KKT_16.2.pdf
- [11] SCHÖCK [online]. *Produkty Schöck*. 2016. [29.11.2017]. Dostupné z <http://www.schoeck-wittek.cz/cs/produkty>

Webové stránky:

- [12] *Silo Tower* [online]. Silo Tower Olomouc. 2012-2014. [2.10.2017]. Dostupné z <http://www.silotower.cz/index.php>
- [13] *Studio Zlámal: Silo Tower v Olomouci* [online]. Business Media CZ. 2007-2017. [2.10.2017]. <https://stavbaweb.dumabyt.cz/studio-zlamal-silo-tower-v-olomouci-2201/clanek.html>
- [14] *Distech* [online]. Dis-Tech. 2003-2004. [29.11.2017]. Dostupné z <http://www.distech.cz/html/detail.php?id=15>
- [15] *Feromax* [online]. Feromax a.s.. 2017. [29.11.2017]. Dostupné z <http://www.feromax.cz/kari-site-sor3.html>

Počítačové programy:

- [16] NEMETSCHKE. *Scia Engineer 16.00* [software]. 2016 [přístup 2.10.2017]. Dostupné z <https://www.scia.net/cs/software/product-selection/scia-engineer>. [Požadavky na systém: procesor Intel Core2Duo nebo AMD, operační systém Windows 2008, Windows 2012, Windows 7, Windows 8.1, Windows 10, volné místo na disku 5 GB, RAM 2 GB]

12 Seznam obrázků

Obr. 1	Fotografie – Silo Tower	9
Obr. 2	Schéma půdorysu běžného podlaží [12]	10
Obr. 3	Fotografie původního síla z roku 1936 [8]	10
Obr. 4	Schéma řezu [12]	11
Obr. 5	Konstrukční schéma typického podlaží.....	12
Obr. 6	Konstrukční schéma – umístění sloupů vůči původnímu sílu	13
Obr. 7	3D prostorový model	17
Obr. 8	Schéma rozměrů průvlaku ve 2.NP.....	19
Obr. 9	Ohybový moment na průvlaku ve 2.NP	20
Obr. 10	Statické schéma průvlaku v 1.NP.....	24
Obr. 11	Rozměry průvlaku.....	24
Obr. 12	Vnitřní síly na průvlaku v 1.NP	25
Obr. 13	Schéma průřezu – kroucení.....	28
Obr. 14	Fotografie konstrukce se ztužením, statické schéma, detail uložení	31
Obr. 15	Zavedení souřadnicového systému, vybrané sloupy pro detailní výpočet	31
Obr. 16	Schéma momentů setrvačnosti u	35
Obr. 17	Graf k určení hodnoty β , dle normy ČSN P ENV 1992-1-1 [2]	35
Obr. 18	Určení hodnoty β (vzpěrná délka v ose y) [2].....	36
Obr. 19	Určení hodnoty β (vzpěrná délka v ose z) [2].....	37
Obr. 20	Rozměry průřezu sloupu	48
Obr. 21	Svislý řez interakčním diagramem (osa y) – zjednodušený výpočet	51
Obr. 22	Svislý řez interakčním diagramem (osa z) - zjednodušený výpočet	52
Obr. 23	Svislý řez interakčním diagramem (osa y)	54
Obr. 24	Svislý řez interakčním diagramem (osa z)	56
Obr. 25	Průřez s rozmístěním výztuže.....	58
Obr. 26	Svislý řez interakčním diagramem dle Scia Engineer	59
Obr. 27	Vodorovný řez interakčním diagramem dle Scia Engineer	59
Obr. 28	Prostorový interakčním diagramem dle Scia Engineer	60
Obr. 29	Schéma manipulace s dílcem (vyjímání dílce z formy)	63
Obr. 30	Ohybové momenty (vyjímání dílce z formy)	63
Obr. 31	Schéma manipulace s dílcem (montáž)	65
Obr. 32	Ohybové momenty (montáž)	65
Obr. 33	Bloková patka s prohlubní – model náhradní příhradoviny [7].....	66
Obr. 34	Geometrie spojitě patky.....	69
Obr. 35	Statické schéma a výsledný moment na spojitě patce.....	70
Obr. 36	Roznášecí oblasti	72
Obr. 37	Rozmístění výztuže v roznášecí oblasti	73
Obr. 38	Schéma desky – ŽB trám B03	77
Obr. 39	Schéma rozměrů ŽB trámu B03.....	77
Obr. 40	Vnitřní síly na ŽB trámu B03	78
Obr. 41	Schéma vyztužení ŽB trámu B03	81
Obr. 42	Schéma desky – ŽB trám B04	82

Obr. 43	Schéma rozměrů ŽB trámu B04.....	82
Obr. 44	Vnitřní síly na ŽB trámu B04	83
Obr. 45	Schéma vyztužení ŽB trámu B04	86
Obr. 46	Obálka ohybových momentů pro návrhové hodnoty	88
Obr. 47	Izolinie ohyb. momentů pro návrhové hodnoty	89
Obr. 48	Obálka ohybových momentů pro návrhové hodnoty	90
Obr. 49	Izolinie ohyb. momentů pro návrhové hodnoty	91
Obr. 50	Obálky ohybových momentů pro charakteristické hodnoty.....	92
Obr. 51	Izolinie ohyb. momentů pro charakteristické hodnoty.....	93
Obr. 52	Obálky ohybových momentů pro charakteristické hodnoty.....	94
Obr. 53	Izolinie ohyb. momentů pro charakteristické hodnoty.....	95
Obr. 54	Obálky ohybových momentů pro kvazistálé hodnoty.....	96
Obr. 55	Izolinie ohyb. momentů pro kvazistálé hodnoty.....	97
Obr. 56	Obálky ohybových momentů pro kvazistálé hodnoty.....	98
Obr. 57	Izolinie ohyb. momentů pro kvazistálé hodnoty.....	99
Obr. 58	Průřez	103

13 Seznam tabulek

Tab. 1	Zatěžovací stavy	17
Tab. 2	Vlastní frekvence konstrukce	30
Tab. 3	Vnitřní síly na sloupu E1 a C2 pro různé kombinace zatížení	38
Tab. 4	Vstupní hodnoty pro výpočet	40
Tab. 5	Stanovení excentricity druhého řádu dle metody založené na jmenovité křivosti	41
Tab. 6	Vnitřní síly na sloupu E1 a C2 pro různé kombinace zatížení + zvětšené rozhodující síly vlivem štíhlosti (metoda založená na jmenovité křivosti)	42
Tab. 7	Stanovení excentricity druhého řádu dle metody založené na jmenovité tuhosti	43
Tab. 8	Vnitřní síly na sloupu E1 a C2 pro různé kombinace zatížení + zvětšené rozhodující síly vlivem štíhlosti (metoda založená na jmenovité tuhosti)	44
Tab. 9	Vnitřní síly na sloupu E1 a C2 pro různé kombinace zatížení + zvětšené rozhodující síly vlivem štíhlosti (iterační metoda – účinky 2. řádu zavedeny výstředností)	45
Tab. 10	Vnitřní síly na sloupu E1 a C2 pro různé kombinace zatížení + zvětšené rozhodující síly vlivem štíhlosti (iterační metoda – účinky 2. řádu zavedeny vodorovnou silou)	46
Tab. 11	Původní vnitřní síly – nezvětšené o vliv štíhlosti	47
Tab. 12	Srovnání – zvětšené vnitřní síly na sloupu E1 a C2 vlivem štíhlosti	47
Tab. 13	Průřezové parametry a rozměry posuzovaného průřezu	48
Tab. 14	Ověření únosnosti základové patky	75
Tab. 15	Kombinace zatížení	76
Tab. 16	Mezní stav únosnosti – výztuž ve směru osy x a y	102
Tab. 17	Srovnání krátkodobého a dlouhodobého chování konstrukce	113